

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2005 年 9 月 9 日 (09.09.2005)

PCT

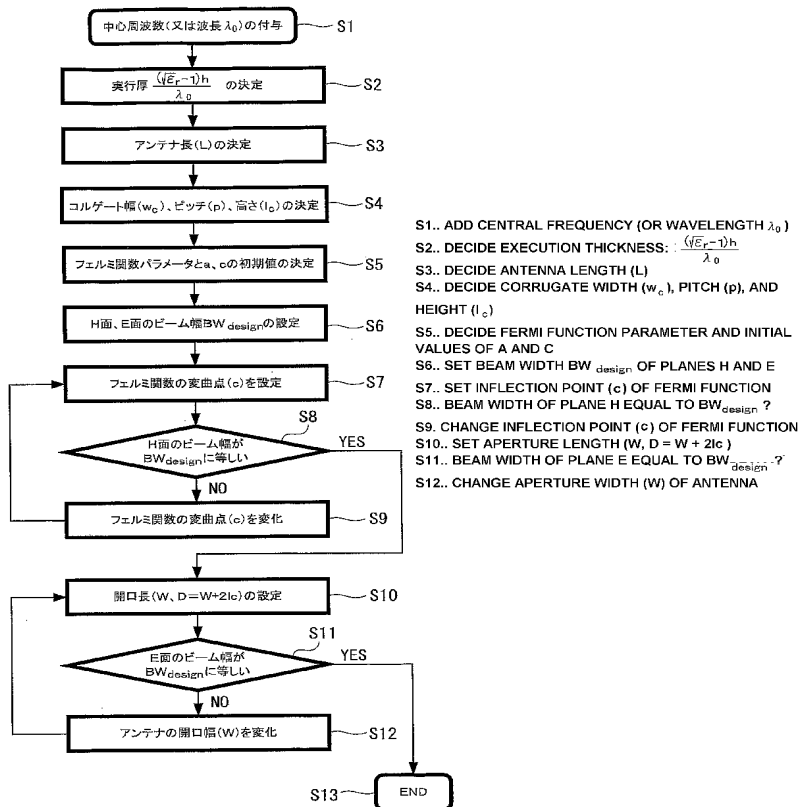
(10) 国際公開番号
WO 2005/083839 A1

- (51) 国際特許分類: H01Q 13/08, 13/10 (72) 発明者; および
(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/003825 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 水野 皓司 (MIZUNO, Koji) [JP/JP]; 〒981-0943 宮城県 仙台市 青葉区国見 6 丁目 1 4 番 6 号 Miyagi (JP). 澤谷 邦男 (SAWAYA, Kunio) [JP/JP]; 〒980-0871 宮城県 仙台市 青葉区八幡 4 丁目 1 番 3 1 号 Miyagi (JP). 佐藤 弘康 (SATO, Hiroyasu) [JP/JP]; 〒980-0874 宮城県 仙台市 青葉区角五郎 2 丁目 1 5 番 1 号の 4 0 1 Miyagi (JP). 我妻 壽彦 (WAGATSUMA, Sumihiko) [JP/JP]; 〒981-3109 宮城県 仙台市 泉区鶴が丘 4 丁目 1 6 番 2 0 号 Miyagi (JP).
(22) 国際出願日: 2005 年 3 月 1 日 (01.03.2005)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ: 特願2004-058031 2004 年 3 月 2 日 (02.03.2004) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人科学技術振興機構 (JAPAN SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒332-0012 埼玉県 川口市 本町 4 丁目 1 番 8 号 Saitama (JP). (74) 代理人: 角田 芳末, 外(TSUNODA, Yoshisue et al.); 〒160-0023 東京都 新宿区 西新宿 1 丁目 8 番 1 号 新宿ビル Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: BROAD-BAND FERMI ANTENNA DESIGN METHOD, DESIGN PROGRAM, AND RECORDING MEDIUM CONTAINING THE DESIGN PROGRAM

(54) 発明の名称: 広帯域フェルミアンテナの設計方法、設計プログラム及び設計プログラムを記録した記録媒体



(57) Abstract: There is provided a method for designing a corrugated Fermi antenna having a broad-band and circular directivity required for receiving an image by using a wave of millimeter order. As a first step, an inflection point of the Fermi-Dirac function as a taper function of the Fermi antenna is changed so as to set the beam width of plane H to a beam width having a target directivity. After the beam width of the plane H is set to the target value, the aperture width of the Fermi antenna is changed so as to set the beam width of the plane E to a beam width having a target directivity. Thus, by adjusting the beam width values of the planes H and E independently from each other and matching them with the target values, it is possible to design a Fermi-antenna having a broad-band and circular directivity in a short time.

(57) 要約: 本発明は、ミリ波の受信画像化に必要な広帯域で円形指向性を有するコルゲート付フェルミアンテナの設計方法であって、まず、第1ステップとして、フェルミアンテナのテーパ関数であるフェルミディラック関数の変曲点を変化させて、H面のビーム幅を目標の指向性を有

するビーム幅に設

[続葉有]

WO 2005/083839 A1



(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,

BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

定する。このH面のビーム幅が目標値に設定されると、次に、フェルミアンテナの開口幅を変化させて、E面のビーム幅を目標の指向性を有するビーム幅に設定する。このようにH面とE面のビーム幅を独立して調整し、目標値と一致させることにより、広帯域かつ円形指向性を有するフェルミアンテナを短時間に設計することができる。

明細書

広帯域フェルミアンテナの設計方法、設計プログラム及び設計プログラムを記録した記録媒体

5 技術分野

本発明は、テーパスロットアンテナ T S A の一つである広帯域フェルミアンテナの設計方法、その設計プログラム及び設計プログラム及び設計プログラムを記録した記録媒体に関する。

10 背景技術

ミリ波を用いてリアルタイムで映像を受信するパッシブイメージングは、天候に左右されることなく、建物や人体を含むすべての対象物のイメージを得ることができるため、その実用化が期待されている。ミリ波とは波長が 10mm から 1mm 程度の電磁波をさし、
15 周波数としては 30GHz 帯から 300GHz 帯がそれに該当する。このミリ波帯の電磁波はマイクロ波帯と比較した場合、a) 小型軽量のシステムが実現できる、b) 鋭い指向性が得られるため、干渉や混信が起こりにくい、c) 周波数帯が広いため、大容量の情報を扱うことができる、d) センシングに用いた場合に高分解能が得られる、
20 などの特徴を有し、また、可視あるいは赤外領域と比較した場合、e) 霧や降雨による減衰が極めて少ない、f) 塵・ほこりなどに対する透過性もよく、耐環境性に優れている、といった特徴が挙げられる。

ミリ波を用いたイメージングの方式には、大きく分けてアクティブイメージングとパッシブイメージングの二つの方式がある。
25 アクティブイメージングは、発信器から放射されるコヒーレントなミリ波を物体に照射し、その反射波または透過波を受信検波して、受信強度あるいは位相に応じた画像を得るものである。この

方式はレーダやプラズマ電子密度計測などに用いられている。

また、パッシブイメージングは、あらゆる物体がその絶対温度に比例して放射している熱雑音の、ミリ波帯の部分を広帯域にわたって受信し、これを検波・増幅して画像を得る方式である。発信器を必要としないこと、また、インコヒーレントな波を受信するため干渉の影響がなく信号処理が容易である等の利点があるが、受信信号が熱雑音という非常に微弱なものであるだけに低雑音・高感度の受信機が要求される。この方式は大気中のオゾンや一酸化炭素などを計測するラジオメータや電波天文学の分野などに利用されている。

このミリ波を用いたリアルタイムなパッシブイメージングは、図 2 1 に示すように、人や物などの対象物 1 0 0 から発生するサーマルノイズ（熱雑音）を円形の指向性を有するレンズアンテナ 1 0 1 を介して、レンズアンテナ 1 0 1 の焦点の位置に配置されたイメージング用受光素子 1 0 2 で受信することによって行われる。このため、レンズアンテナ 1 0 1 と整合性の取れたイメージング受光素子（アンテナ）の開発が極めて重要なものとなっている。通常は、レンズアンテナ 1 0 1 の直径（D）はその焦点距離（f）と等しく設計され、 $f/D = 1$ のとき最も良い状態のパッシブイメージングが行われるとされている。

リアルタイムなイメージング方法には機械的な走査を行ってやる方法があるが、この方法では走査のための複雑な機構が必要であり、また計測に多くの時間がかかるためリアルタイムの画像を得ることが困難である。これに対して、数多くの受信素子を 2 次元配列して像を得るイメージングアレイ方式は、走査機構が不要であり、短時間で計測することができるのでリアルタイムの画像化が可能である。図 2 1 では、1 個のイメージング受光素子 1 0 2 が描かれているが、実際には複数のイメージング受光素子（ア

ンテナ)がアレイ状に並んでいる。

また、このイメージング用受光素子 1 0 2 に適したアンテナとして、レンズアンテナ 1 0 1 が円形の指向性を有することから、このレンズアンテナ 1 0 1 との整合性のために E 面指向性と H 面指向性とがほぼ等しいことが要求されている。ここで E 面 (x z 平面) は電界の共振面であり、H 面 (x y 平面) は E 面に垂直な面である。一般的には、E 面に対しては強く共振して対象物からの映像が受信できたとしても、H 面の指向性がない場合が多く、それによって変換効率が落ち、利得も低くなってしまうという問題がある。

また、更に要求される特性としては、広帯域でかつ集積化やアレイ化に適したものであるほかに、アレイ素子の数がイメージングの画素を決定するので、所定の面積にできるだけ多くのアンテナを配列できることなどが挙げられている。さらに、受信した信号を検波器のノイズレベルまで増幅する必要があるが、アンテナとしては増幅器までの損失を少なくする意味でも高利得であることが要求されている。

これらの要求を満足する有力なアンテナとして、近年テーパスロットアンテナ T S A (Tapered Slot Antenna) の研究が盛んに行われている。この T S A は、広帯域、軽量、薄型であって、かつフォトリソグラフィ技術によって簡単に製作が可能であり、集積化も容易であるため、マイクロ波からミリ波の周波数帯まで通信用、計測用とさまざまな用途に利用されている。この T S A の基本的な動作原理は、進行波アンテナとして説明される。すなわち、ダイポールアンテナのような反射型のアンテナとは異なり、発生した電波が、振動することなくそのまま進行方向に伝播するアンテナとして解釈されている。そして、T S A のテーパ形状としては、線形の L T S A (Linear TSA)、ラッパ型の指数関数のテーパ

形状をした Vivaldi T S A がよく用いられている。

また、いくつかの異なる関数形が接続された C W S A (Constant Width Slot Antenna) や、L T S A が折れ曲がって接続されたテーパ形状を持つ B L T S A (Broken Linearly TSA) も

5 提案されている。

また、最近フェルミアンテナと呼ばれるテーパスロットアンテナ T S A も提案されているが、このフェルミアンテナ 1 0 の構造は、図 2 2 に示されるように、テーパ形状がフェルミディラック関数 (以下、「フェルミ関数」という。) で表され、かつ誘電体基板 1

10 1 の外側に櫛歯状のコルゲート構造 1 2 を持っている。このフェルミアンテナ 1 0 は、基板幅 D が狭くても E 面及び H 面の指向性がほぼ等しく、また比較的サイドローブレベルが低いことが実験的に見出されているため、ミリ波イメージング用受信アンテナとして適していると考えられている。

15 図 2 2 は、フェルミアンテナ 1 0 の基本構造を示したものであり、このアンテナの特徴は、上述のようにフェルミディラック関数で表されるテーパ形状と、誘電体基板 1 1 外側がコルゲート構造 1 2 をもつことである。このフェルミアンテナは、誘電体基板 1 1 にフォトリソグラフィ技術を用いて容易に製作することがで
20 き、誘電体基板 1 1 の片面のみにアンテナと給電回路を構成することができる点で有利である。フェルミ関数は量子力学において電子のエネルギー順位を表す関数として知られているものであり、図 2 2 の構造と座標系を考慮すると、一般に [数 1] で示される式で与えられる関数となる。

25 [数 1]

$$f(x) = \frac{a}{1 + e^{-b(x-a)}}$$

ここで、 a 、 b 、 c はテーパの形状を表すパラメータである。 a は $x \rightarrow \infty$ における関数の漸近値を表し、 c は関数の変曲点である。また、 $f'(c) = ab/4$ より、 b は変曲点における接線の傾きを決めるパラメータとなっている。ここで $f(c) = a/2$ の
 5 関係があり、また、 $b(L-c) \gg 1$ の関係があれば、開口付近は $x = L$ として、 $f(L) = a$ となるから、開口幅 W は、 $W = 2a$ で与えられる。なお、フェルミアンテナの設計パラメータとしては、誘電体基板の比誘電率 ϵ_r 、基板の厚さ h 、アンテナ長 L 、コルゲート構造の幅 w_c 、ピッチ p 、コルゲート長 l_c 、テーパ形状を決めるフェルミ関数のパラメータ a 、 b 、 c と極めて多く、これらの値をどのように選択すると小形で
 10 所望のビーム幅 BW_{design} の円形指向性をもつアンテナが設計できるかが重要な課題となっている。

このフェルミアンテナに関しては、周波数 60 GHz において $LTSA$ 、 $Vivaldi$ 、 $CWSA$ 、 $BLTSA$ と、フェルミ関数テーパを用いた TSA とを対比し、幅の広い基板を用いた場合にフェルミ関数テーパ TSA の H 面のサイドローブが最も低減されることを示した論文が提案されている（例えば、非特許文献 1 を参照。）。この非特許文献 1 では、フェルミアンテナの基板幅を狭くすると E 面と H 面の指向性が異なってくるが、これにコルゲート
 15 構造を設けることにより指向性をほぼ等しくできることが示されている。

また、本発明者らは、フェルミアンテナのテーパ形状（すなわちフェルミ関数のパラメータ a 、 b 、 c ）、アンテナ長 L 、誘電体厚 h 、開口幅 W 、基板幅 D などを変化させたときの放射指向性を
 25 $FDTD$ (Finite Difference Time Domain) 法により求め、フェルミアンテナの構造に関係する諸パラメータとアンテナ特性の関係を明らかにするとともに、イメージング用受信素子に適したフェルミアンテナの最適な構造を提案した(非特許文献 2 を参照。)

図 2 3 は、ここで提案された典型的なフェルミアンテナの寸法の一例を示したものである。この非特許文献 2 によれば、基板幅 $D = 0.58 \lambda_0$ 、開口幅 $W = 0.32 \lambda_0$ のフェルミアンテナにおいて、動作利得が 13.2dBi（ここで、“i” は “isotropic” の意味）、E 面と H 面のサイドローブレベルがそれぞれ -18.4 d B、-14.3 d B で、かつ良好な軸対象を有し、実験とよく一致する結果が得られたことを報告した。この例では、35 GHz で設計した典型的なフェルミアンテナの寸法を示しており、ここでは、 $c = 2 \lambda_0 = 17.14 \text{ mm}$ 、 $a = W / 2 = 3.9 \text{ mm}$ 、 $b = 0.28 \text{ mm}^{-1}$ としている。

- 10 しかしながら、フェルミアンテナを含む T S A は、テーパ形状を決める関数、アンテナ長、開口幅、有限の基板幅、厚さ、比誘電率など多数の構造パラメータを有し、これらの変化に応じてその放射特性が大きく変化するという特性を持っている。このため、フェルミアンテナを設計する場合には、実験による経験的な方法
- 15 や、近似的な計算による方法に終始していた。つまり、現状では、T S A を作製して偶然に特性のいいものができたとしても、作るたびに特性が変化ししてしまい、確固とした設計理論は確立されていないという状態であった。このように、フェルミアンテナに要求される放射指向性を実現できる設計指針を得ることは容易な
- 20 ことではないという現実があり、上記非特許文献 1 及び非特許文献 2 に記載の提案においても、円形指向性をもつ T S A の設計方法を提示するものではなかった。

[非特許文献 1] S. Sugawara etc. “A m-m wave tapered slot antenna with improved radiation pattern,” IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, pp.959-962, Denver, USA, 1997

[非特許文献 2] 電子情報通信学会論文誌 B. Vol. J80-B, No. 9 (2003. 9)

発明の開示

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、フェルミアンテナを用いた円形指向性を持つ放射パターン of 任意のビーム幅を得るための設計方法及びそのためのプログラムを提供することを目的とするものである。

上記課題を解決し、本発明の目的を達成するため、本発明は、ミリ波の受信画像化に必要な広帯域で円形指向性を有するコルゲート付フェルミアンテナの設計方法であって、フェルミアンテナのテーパ関数であるフェルミディラック関数の変曲点を変化させて、H面のビーム幅を目標の指向性を有するビーム幅に設定するとともに、このフェルミアンテナの開口幅を変化させて、E面のビーム幅を目標の指向性を有するビーム幅に設定することにより、広帯域かつ円形指向性を実現することを特徴としている。

また、本発明は、広帯域周波数の中心周波数またはそれに対応する波長を与えるステップと、フェルミアンテナの誘電体基板の実効厚を決定するステップと、フェルミアンテナのアンテナ長を決定するステップと、フェルミアンテナのコルゲートの幅、ピッチ及び高さを決定するステップと、フェルミアンテナのテーパ形状を形成するフェルミディラック関数のパラメータを決定するステップと、フェルミアンテナから放射される電波のH面とE面のビーム幅の目標値を設定するステップと、フェルミ関数の変曲点を任意に設定した後に、H面のビーム幅を上記予め設定したH面のビーム幅の目標値と比較するH面ビーム幅比較ステップと、このH面ビーム幅比較ステップにおいて、上記予め設定したH面ビーム幅の目標値に一致しないときは、変曲点の位置を変化させた後、再びH面のビーム幅を上記予め設定したH面のビーム幅の目標値と比較するステップを繰り返すH面ビーム幅決定サイクルと、

上記H面ビーム幅比較ステップにおいて、H面ビーム幅が予め設定したH面ビーム幅と一致したときに、次の段階としてフェルミアンテナの開口幅を設定するステップと、この設定した開口幅に基づいて放射される電波のE面のビーム幅と、予め設定したE面のビーム幅の目標値を比較するE面ビーム幅比較ステップと、このE面ビーム幅比較ステップにおいて、上記目標値に一致しないときは、フェルミアンテナの開口幅を変化させ、再びE面のビーム幅を上記予め設定したE面のビーム幅の目標値と比較するステップを繰り返すE面ビーム幅決定サイクルと、を含み、上記H面ビーム幅とE面ビーム幅の双方とも略等しい円形指向性を有するように設計する設計方法である。

また、本発明は、上記設計方法を実現するための設計プログラムとそのプログラムを記録した記録媒体も含んでいる。すなわち、ミリ波の受信画像化に必要な広帯域で円形指向性を有するコルゲート付フェルミアンテナを設計するためのプログラムであって、広帯域周波数の中心周波数またはそれに対応する波長を与える手順と、フェルミアンテナの誘電体基板の実効厚を決定する手順と、フェルミアンテナのアンテナ長を決定する手順と、フェルミアンテナのコルゲートの幅、ピッチ及び高さを決定する手順と、フェルミアンテナのテーパ形状を形成するフェルミディラック関数のパラメータを決定する手順と、フェルミアンテナから放射される電波のH面とE面のビーム幅の目標値を設定する手順と、フェルミ関数の変曲点を任意に設定した後に、上記H面のビーム幅を上記予め設定したH面のビーム幅の目標値と比較する手順と、このH面ビーム幅が上記H面のビーム幅の目標値に一致しないときは、テーパ形状をしたフェルミディラック関数の変曲点の位置を変化させた後、H面のビーム幅と予め設定したH面のビーム幅の目標値と比較する手順を繰り返し、上記H面ビーム幅を比較する手順

- において、H面ビーム幅が予め設定したH面ビーム幅と一致したときに、フェルミアンテナの開口幅を設定する手順と、この設定した開口幅に基づいて放射される電波のE面のビーム幅と、予め設定したE面のビーム幅の目標値を比較する手順と、このE面ビーム幅を比較する手順において、E面のビーム幅が上記予め設定したE面ビーム幅の目標値に一致しないときは、フェルミアンテナの開口幅を変化させてE面のビーム幅を上記予め設定したE面のビーム幅の目標値と比較する手順を繰り返すことにより、H面ビーム幅とE面ビーム幅の双方とも略等しい円形指向性を有するように設計するための手順を実行する広帯域フェルミアンテナの設計のためのプログラムとこのプログラムを記録した記録媒体を含んでいる。

- 本発明の広帯域フェルミアンテナの設計方法及び設計プログラムによれば、E面とH面の放射パターンを比較的短時間で目標値に一致させることができるとともに、E面、H面とも所望のビーム幅を持たせ、かつサイドローブも低く設定することができるので、ミリ波イメージング用受講素子に適したフェルミアンテナが実現することができる。

20 図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1の実施の形態のフェルミアンテナの設計方法及びプログラムを示すフローチャートである。

図2は、本発明のフェルミアンテナに用いられる誘電体基板の実効厚と利得の関係を示すグラフである。

- 図3は、フェルミアンテナの誘電体の有無に対するH面及びE面の動作パターンを示す図である。(A)は誘電体無しの場合、(B)は誘電体有りの場合である。

図4は、フェルミアンテナのテーパ内外の電界強度を示すグラ

フである。

図 5 は、フェルミアンテナの誘電体基板としてガラスを用いた場合の実効コルゲート長に対する動作利得を示したグラフである。

5 図 6 は、フェルミアンテナの誘電体基板としてアルミナを用いた場合の実効コルゲート長に対する動作利得を示したグラフである。

図 7 は、フェルミアンテナのコルゲートの幅とピッチの関係に対する周波数－利得特性を示した図である。(A)、(B)、(C)、
10 (D) はそれぞれ $p = 2w_c$ 、 $4w_c$ 、 $8w_c$ 、 $10w_c$ のときのコルゲート構造を示し、(E) は各コルゲート構造のフェルミアンテナの周波数－利得特性を示すグラフである。

図 8 は、フェルミアンテナのテーパ形状の変曲点がアンテナ長の中心にある場合の変曲点における接線の傾きを示す図である。

15 図 9 は、フェルミアンテナのパラメータ b を変化させたときのテーパ形状 (A) と、H 面のサイドローブレベルの周波数特性 (B) を示す図である。

図 10 は、フェルミアンテナのテーパ形状の変曲点の位置をアンテナ長の $1/4$ 付近に移動させた場合の変曲点における接線の
20 傾きを示す図である。

図 11 は、フェルミアンテナのフェルミ関数の変曲点位置の変化に対する H 面と E 面の 10 dB ビーム幅 (A) と、フェルミアンテナの開口径の変化に対する H 面と E 面の 10 dB ビーム幅 (B) を示す図である。

25 図 12 は、フェルミアンテナの基板幅 D と開口径 W の差 d を変化させたときの動作利得を示す図である。

図 13 は、フェルミアンテナのテーパ形状の変曲点の位置をアンテナ長の $1/4$ 付近に移動させ、更に開口径を狭くした場合の

フェルミアンテナの構造を示す図である。

図 1 4 は、フェルミアンテナのフェルミ関数の変曲点位置の変化に対する利得特性 (A) と、フェルミアンテナの開口幅の変化に対する利得特性 (B) を示す図である。

5 図 1 5 は、本発明の設計方法において設計したフェルミアンテナの H 面の指向性 (A) と E 面の指向性 (B) の F D T D 法による解析値と測定値、及び 1 0 d B ビーム幅の周波数特性 (C) を示した図である。

10 図 1 6 は、本発明の設計方法において、開口幅 $W = 0.32\lambda$ として設計したフェルミアンテナの E 面の指向性 (A) と H 面の指向性 (B) の F D T D 法による解析値と測定値を示した図である。

図 1 7 は、本発明の設計方法において、誘電基板の材質と厚さを変えて実効厚を同じにしたときのフェルミアンテナの E 面の指向性 (A) と H の指向性 (B) の F D T D 法による解析値と測定値
15 を示した図である。

図 1 8 は、本発明の設計方法において、変曲点位置を変化させて H 面ビーム幅を変更し、開口幅を変化させて E 面ビーム幅を変更することを説明するための動作利得パターンを示す図である。

20 図 1 9 は、本発明の設計方法により設計されたフェルミアンテナの 1 0 d B ビーム幅の周波数特性と動作利得パターンを示す図である。

図 2 0 は、本発明の他の実施の形態のフェルミアンテナの設計方法及びプログラムを示すフローチャートである。

25 図 2 1 は、従来のミリ波パッシブイメージングの原理を模式的に示した図である。

図 2 2 は、フェルミアンテナの構造と原理を示す図である。

図 2 3 は、典型的なフェルミアンテナの寸法の例を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の広帯域アンテナの代表的なものであるフェルミアンテナの設計方法の実施の形態について説明する。上述したように、フェルミアンテナの設計パラメータとしては、誘電体基板の比誘電率 ϵ_r 、基板の厚さ h 、アンテナ長 L 、コルゲート構造の幅 w_c 、ピッチ p 、コルゲート長 l_c 、テーパ形状を決めるフェルミ関数のパラメータ a 、 b 、 c と実に多く、これらの値をどのように選択すると小形で所望のビーム幅 $B.W_{design}$ の円形指向性をもつアンテナが設計できるかについて、図 1 に示す設計フローチャートを用いて周波数 3.5 GHz に対する設計例と共に説明することとする。

周波数を 3.5 GHz に設定した理由は、3.5 GHz 付近に大気の窓といわれる、大気による電波の減衰が少ない周波数帯があること、そして、3.5 GHz に対応する波長が 8.57mm であり、その半波長が 4.28mm なるので、2 物点の像が分離される限界であるレーリー (Rayleigh) の分解能 5mm ぎりぎりの限界まで設計することができるからである。

ここでレーリーの分解能について説明をしておく。一般に、光学系による点像は、光の回折現象により近軸像点を中心とした広がりのある分布を持つため、近接した二つの物体の像は部分的に重なり合っている。この重なりが増えていくと、それによって 2 物点の像であることを認識できなくなる最小の距離が考えられる。このような 2 物点間の最小距離を光学系の分解能といい、この 2 物点の像が分離される限界にレーリーの分解能が適用される。

以下、図 1 ～図 18 に基づいて、本発明の実施の形態の例を説明する。まず、高精度な電磁界解析である FDTD 法を用いてフェルミアンテナの基本動作特性を検討し、イメージング用受信素

子に用いるフェルミアンテナの設計例を説明する。

F D T D 法は、電界と磁界の時間及び空間の偏微分で与えられるマックスウェルの方程式を、時間と空間の差分で置き換えてこれを数値的に解く方法である。この F D T D 法は、汎用性が高い
5 という利点がある反面、空間を直方体のセルに分割するために、大規模なメモリと長い数値計算が必要になるという欠点もある。

図 1 は、本発明の広帯域フェルミアンテナの設計方法の実施の形態を示すフローチャートであり、以下、このフローチャートにしたがって円形指向性を持つフェルミアンテナの設計例を説明する。
10 図 2 ～ 図 1 9 は各パラメータを決める根拠となるデータを説明するための図である。

まず、フェルミ関数の設計中心周波数または中心波長 λ_0 を与える（ステップ S 1）。フェルミアンテナは一般に数オクターブの広帯域性をもち、中心周波数はその広帯域の中心の周波数を意味
15 する。したがって、広帯域であるということは、中心周波数のまわりの比較的広い帯域を使用可能にすることをいう。例えば、3 5 GHz を中心周波数に選んだ場合、3 0 GHz 程度から 4 0 GHz 程度まで使用可能となるような設計とすることを意味している。

続いて、誘電体基板の実効厚を決定する（ステップ S 2）。この実効厚は〔数 2 式〕に示されるように、誘電体基板の比誘電率 ϵ_r の平方根から 1 を引いた値に、誘電体基板の厚さ h を掛け算した値を、さらに中心周波数対応の波長 λ_0 で割った値である。ステップ S 2 においては、この値が〔数 2 式〕を満たすように設定
20 される。図 2 は、誘電基板の厚さ h を 3 段階（0.1mm、0.2mm、0.5mm）
25 に変えたとともに、比誘電率 ϵ_r を 2 段階（3.7、9.8）に変えて実効厚を変化させたときの動作利得をグラフにしたものである。このグラフから明らかなように、 $\epsilon_r=3.7$ 及び $\epsilon_r=9.8$ のいずれの場合も、実効厚が 0.01 付近で最高利得となっている。これは、実

効厚が 0.01 付近において、コルゲート構造とテーパ内部の誘電体が共に遅波構造として働き、これらに沿う電磁波が同位相となる厚さとなって、実効開口面積が広げられることに起因している。すなわち、フェルミアンテナのスロット軸付近では最初から遅波構造になっているが、コルゲート構造とすることにより周辺部も遅波構造となって、開口幅全体にわたって電磁波が同位相となって発せられるのである。

また、図 2 は、実効厚を増加すると利得はわずかに減少するが、減少はそれほど大きくないこと、そして、実効厚が比較的厚くても動作利得の劣化が小さいことを示している。したがって、実効厚が [数 2 式] を満たしていれば、設計上は満足できる動作利得が得られる。また、図 3 から分かるように、誘電体を設けた場合と誘電体がない場合とを比較すると、誘電体を設けた方が E 面と H 面の全方向にわたって電力が前方に集中し、高利得の特性が得られることが理解できる。なお、図 2 の実効厚における動作利得の解析に当たっては、アンテナの開口幅 $W = 0.91 \lambda_0$ 、フェルミ関数のパラメータ $a = W/2$ 、 $b = 2.4/\lambda_0$ 、 $c = 2 \lambda_0$ としている。

[数 2]

$$0.01 \leq \frac{(\sqrt{\epsilon_r} - 1)h}{\lambda_0} < 0.05$$

次に、図 1 のフローチャートにおいて、アンテナ長 (L) が決定される (ステップ S 3)。図 4 は、アンテナ長 L を決定するために、フェルミアンテナのテーパのスロット線路軸付近と周辺のコルゲート付近の電界強度分布を解析したものである。このように、アンテナ長 L は、スロット線路で励振された波がアンテナ先端部で十分減衰する長さを FDTD 法による電磁界解析により求める

ことにより決定することができる。すなわち、図 4 によれば、テープの中心軸（スロット軸）付近の電界強度は、給電点（ $L/\lambda = 0$ ）から遠ざかるに従って減衰し、 $L = 4\lambda$ 付近で飽和している。一方、コルゲート付近で解析した電界強度は、給電点（ $L/\lambda = 0$ ）から遠ざかるに従って増加し、同様に $L = 4\lambda$ 付近で飽和する。

このことは、 $L = 4\lambda$ 付近になって、中心軸上の電界とコルゲート付近の電界の両方が安定することを意味しており、この結果、アンテナ長 L としては 4λ 程度の長さとするのが有効であるので、ここでは、 $L = 4\lambda$ と決定することとした。このアンテナ長 L の値は必ず $L = 4\lambda$ でなければならないということではなく、図 4 から見て $L = 3\lambda$ としてもよいことがわかる。

次に、図 1 のフローチャートにおいて、コルゲート構造の寸法、すなわち、実効コルゲート長 l_e 、コルゲートのピッチ p 、コルゲートの幅 w_e を決定する（ステップ S 4）。

このコルゲート構造は、ホーンアンテナなどによく用いられる遅波線路であり、従来のフェルミアンテナにおいては、ビーム幅を変化させるために用いられていた。本発明のコルゲート構造の寸法は、一旦決定されたら変化させることがない点で従来のものと異なっている。

最初に、コルゲートの幅 w_e を決定する。このコルゲートの幅 w_e は、波長 λ_0 に対して十分狭く取ればよいことが知られており、アンテナ長を 100 分割した値、 $w_e = L/100 = \lambda_0/25$ 程度とすることが適当であるので、以下の解析では $w_e = \lambda_0/25$ としている。

同様に、ステップ S 4 において、コルゲートの長さ l_e が決定される。実効コルゲート長 l_e の決定を行うため、図 5、図 6 に示すように、実効コルゲート長 l_e に対する動作利得特性の解析

を行った。図 5 はガラス基板（比誘電率 3.7）、図 6 はアルミ基板（比誘電率 9.8）でコルゲート長を変化させて動作利得を F D T D 解析した結果を示したものである。ここで、 λ_g は実行波長であり、真空時の中心波長 λ_0 を比誘電率の平方根で割った値である。図 5 及び図 6 の解析結果に示されるように、実効コルゲート長 l_c / λ_g が略 0.1 以上であれば、動作利得が概ねフラットな特性を持っていることが認められた。つまり、中心周波数または使用最低周波数に対する実効コルゲート長 l_c / λ_g が 0.1 以上あれば、高利得特性が得られることが解析された。

次に、同じく図 1 のフローチャートのステップ S 4 において、コルゲートのピッチ p が決定される。図 7 A ~ D は、コルゲートの幅 w_c とピッチ p の関係を模式的に示したものであり、それぞれ、 $p = 2 w_c$ 、 $p = 4 w_c$ 、 $p = 8 w_c$ 、 $p = 10 w_c$ になっている。また、図 7 E は、周波数を変化させたときの動作利得特性を示した図であり、 $p = 2 w_c$ と $p = 4 w_c$ の場合は、略 30GHz から 50GHz までの広帯域にわたって高利得で安定した動作利得が得られることが確認された。このことから、コルゲートのピッチは $p = 2 w_c$ に決定すれば十分であることがわかる。

次に、図 1 に示すフローチャートにおいて、フェルミ関数のパラメータである（ a ， b ， c ）が決定される（ステップ S 5）。このパラメータはフェルミ関数のテーパ形状を決定するものである。

このステップ S 5 において、まず、パラメータ a の初期値が設定される。パラメータ a は、開口幅 W （ $W = 2 a$ ）に関するパラメータであり、初期値としては開口幅 W を 1 波長程度（ $W = \lambda_0$ ）、すなわち $a = \lambda_0 / 2$ に設定する（図 8 を参照）。同様に、ステップ S 5 において、パラメータ c の初期値が設定される。このパラメータ c は、フェルミアンテナの軸方向のフェルミ関数のテーパ形状の変曲点の位置を示すパラメータであり、このパラメー

タ c により H 面のビーム幅が主として決定される。初期値としては、上述のようにアンテナ長 L の半分、 $a = L / 2$ ($2 \lambda_0$) に設定される。

続いて、ステップ S 5 において、パラメータ b が決定される。

- 5 パラメータ b は変曲点における接線の傾きを決める値であり、傾き $f'(c)$ が決まれば $b = 4 f'(c) / a$ により求められる。例えば、図 8 に示すように、変曲点をアンテナの中心 ($c = L / 2 = 2 \lambda_0$) に置き、 $f'(c) = W / 2L$ ($b = 1 / \lambda_0$) に選定すると、テーパ形状が概ね直線 (L T S A) となる。そこで、さらに
- 10 H 面のサイドローブレベルを低くするため、パラメータ b を $2.4 / \lambda_0$ に選定してサイドローブレベルの周波数変化を解析した。なお、ここでは $a = 0.455 \lambda_0$ としている。図 9 から明らかなように、 $b = 1 / \lambda_0$ 、 $b = 2.4 / \lambda_0$ 、 $b = 4.8 / \lambda_0$ の中で、 $b = 2.4 / \lambda_0$ の時が広い周波数範囲にわたって H 面のサイドローブレベルが低いことがわかる。H 面のサイドローブが低いことは、実質的に高
- 15 利得になると考えられており、このサイドローブが広帯域の範囲で低いことがフェルミアンテナを設計する上で重要となる。したがって、ここでは、パラメータ b として $b = 2.4 / \lambda_0$ に決定している。

- 20 次に、図 1 のフローチャートにおいて、H 面及び E 面の設計すべきビーム幅の目標値 BW_{design} が設定される (ステップ S 6)。ここでは、設計周波数を 35 GHz とし、放射指向性が 10 dB ビーム幅の目標値 $BW_{\text{design}} = 52^\circ$ となる構造に目標値を決定する。

- ここで、FDTD 法のセルサイズとしては、誘電体としてガラス
- 25 ス素材を用いた場合 ($\epsilon_r = 3.7$ の場合) は、 $\Delta x = 0.1714\text{mm}$ 、 $\Delta y = 0.1\text{mm}$ 、 $\Delta z = 0.05\text{mm}$ であり、誘電体としてアルミナを用いた場合 ($\epsilon_r = 9.8$ の場合) は、 $\Delta x = 0.1714\text{mm}$ 、 $\Delta y = 0.05\text{mm}$ 、 $\Delta z = 0.05\text{mm}$ としている。誘電体の違いによって変更されるのは y 方向のセル

サイズのみである。

次に、図 1 のフローチャートにおいて、フェルミ関数の変曲点 c の値が仮設定される (ステップ S 7)。ここでは、ステップ S 5 で初期値として設定されたアンテナ長 L の半分の値 $c = L / 2$ として、次の判断ステップ S 8 に進む。判断ステップ S 8 では、H 面のビーム幅がステップ S 6 で設定したビーム幅の目標値 $BW_{\text{design}} = 52^\circ$ に等しいか否かが判断される。H 面のビーム幅が目標値 52° に等しい場合は、次の E 面のビーム幅を決めるステップに進むが、判断ステップ S 6 において、H 面のビーム幅が目標値 52° に一致しないと判断された場合は、フェルミ関数の変曲点 c を変化させた後 (ステップ S 9)、ステップ S 7、ステップ S 8 を繰り返す。

この変曲点 c を変化させた場合の例を図 10 に示す。図 10 は変曲点 c がアンテナ長の中心位置から、左方向へシフトしたときの図であり、この変曲点 c の値が H 面のビーム幅の変化に大きく寄与している。図 11 (A) は、開口幅を $W = 0.91\lambda_0$ に固定して変曲点の位置を変化したときの 10 dB ビーム幅を示す図である。変曲点 c を $2\lambda_0$ から λ_0 まで小さくすると、H 面の 10 dB ビーム幅が 70.4° から目標値 52° まで変化する。しかし、このときの E 面のビーム幅の変化はわずか 7.5° となっている。したがって、この図 11 (A) から、E 面のビーム幅に関しては、変曲点 c の変化の寄与率は比較的少ないと見ることができる。なお、この実験では、 $a = W / 2$ 、 $b = 2.4 / \lambda_0$ としている。なお、後述するが、図 11 (B) は、変曲点 c の位置は変えないで、開口幅 W を変化させた場合のデータをプロットしたものである。

このように、図 1 のフローチャートにおいて、ステップ S 9 でフェルミ関数の変曲点 c を変化させて、再び、ステップ S 8 の判断を行い、H 面のビーム幅が目標値 $BW_{\text{design}} = 52^\circ$ に一致する

まで繰り返す。このループの繰り返しにより、やがてH面のビーム幅が目標値に一致し、次のステップS 1 0に進む。

ステップS 1 0では、フェルミアンテナの開口幅Wが仮に設定される。誘電体基板の基板幅Dは、開口幅Wにコルゲートの高さ 1_0 を2倍したものを加えた値、 $D = W + 2 \cdot 1_0$ に設定する。ここで、まず、基板幅Dと開口幅Wの関係について、図12に基づいて説明する。図12の(A)は、基板幅 $D > W + 2 \cdot 1_0$ の場合($d > 1_0$)のフェルミアンテナのテーパ形状を示したものであり、(B)は、基板幅 $D = W + 2 \cdot 1_0$ ($d = 1_0$)の場合のフェルミアンテナのテーパ形状を示したものである。また、図12(C)は、開口幅 $W = 0.91\lambda_0$ 、 $a = W/2$ 、 $b = 2.4/\lambda_0$ 、 $c = 2\lambda_0$ として、基板幅と開口幅の差($D - W = 2d$)を変化させて解析した動作利得特性である。図12(C)から、最高利得となるdの値は、 $d = 1_0$ であることが分かる。したがって、ステップS 1 0における基板幅Dの決定に際しては、 $D = W + 2 \cdot 1_0$ とすることとする。また、開口幅Wとしては初期値として $0.91\lambda_0$ に設定する。

続いて、E面のビーム幅がステップS 6で設定した目標値 $BW_{design} = 52^\circ$ に一致しているか否かが判断される(ステップS 1 1)。この判断ステップS 1 1でE面のビーム幅が目標値 $BW_{design} = 52^\circ$ に一致していると判断された場合は、H面、E面ともビーム幅が目標値になったことになるので、終了する(ステップS 1 3)。判断ステップS 1 1でE面のビーム幅が目標値 $BW_{design} = 52^\circ$ に等しくなっていないと判断された場合には、アンテナの開口幅Wを変化させる(ステップS 1 2)。

図13は、フェルミ関数のパラメータ $b = 2.4/\lambda_0$ 、 $c = \lambda_0$ とした状態で、開口幅W($2a$)を変えた場合のフェルミアンテナのテーパ形状を示したものである。また、図11(B)は、このようにパラメータbとcを一定値に設定した状態で、開口幅W

を変化させたときの、H面とE面の10dBビーム幅をプロットしたものである。開口幅 W を $0.91\lambda_0$ から $0.32\lambda_0$ まで小さくすることにより、E面のビーム幅が目標値 $BW_{\text{design}} = 52^\circ$ まで変化している。しかしながら、このときのH面のビーム幅の変化はわずかに 1.2° であり、開口幅の変化に依存しないで略一定に保たれていることがわかる。

以上説明したように、図11(A)は、変曲点 c の変化がH面のビーム幅の変化に大きく影響し、E面のビーム幅に与える影響が少ないことを示しており、図11(B)は、開口幅 W の変化がE面のビーム幅に大きく影響し、H面のビーム幅への影響が小さいことを示している。この結果から、H面とE面のビーム幅は、変曲点 c の位置と開口幅 W の値をそれぞれ独立に変化させて調整することができるといえる。したがって、本発明の設計方法では、この性質を利用して、H面とE面のビーム幅を独立させて目標値 $BW_{\text{design}} = 52^\circ$ に一致させるようにしている。

図14(A)は、フェルミ関数の変曲点 c の位置を変化させたときの動作利得を示すグラフであり、図14(B)は、フェルミアンテナの開口幅を変化させたときの動作利得を示すグラフである。この図14(A)からわかるように、開口幅を変えずに変曲点 c の位置を左方に移動すれば、つまり c を小さくすれば高利得化することができる。また、図14(B)から、開口幅 W を $0.91\lambda_0$ から $0.32\lambda_0$ まで小さくしても、低下する利得は1dB程度と少ないことがわかる。

図15は、上記の方法で設計したフェルミアンテナを用いて対象物から発せられる熱雑音を測定したときの測定値(○)とFDTD法によって解析した解析値(実線)の動作利得パターンをプロットしたものである。図15(A)はH面の動作利得パターン、図15(B)はE面の動作利得パターンを示し、図15(C)は

1 0 dB ビーム幅の周波数特性を示している。この図から見て、H
面のビーム幅の方がE面のビーム幅より広角になっていることが
わかる。また、図 1 5 (C) からわかるように、測定値と F D T
D 解析値は 3 5 GHz 付近を境にして、周波数が高くなると一致度
5 が増し、周波数が低くなると差が大きくなっているといえる。

図 1 6 は、開口幅 W を 0.32λ として設計したフェルミアンテナ
を用いて熱雑音を測定したときの測定値 (○印) と同じく F D
T D 法によって解析した解析値 (実線) の動作パターンをプロッ
トしたものである。この図から明らかなように、開口幅 W を 0.32
10 λ としたことによって、E 面 (図 1 6 A)、H 面 (図 1 6 B) と
もに指向性のパターンの一致度が高くなっており、円形の指向性
が実現されていることがわかる。また、実験による測定値と解析
値は極めてよく一致していることもわかる。

また、図 1 7 は、2 種類の誘電体基板を用いてそれらの実効厚
15 を同じにして、石英 ($h=200\mu\text{m}$) を用いた場合の測定値 (実線) と
アルミナ ($h=100\mu\text{m}$) を用いた場合の測定値 (点線) の動作パ
ターンをプロットしたものである。E 面 (図 1 7 A)、H 面 (図 1 7
B) とともに、放射指向性が極めてよく一致していることがわかった。
この実験結果から明らかなように、誘電基板の材質が変わっても、
20 実効厚を等しくすることによって、極めて近い動作利得パターン
が得られることを確認することができた。

図 1 8 は、上述した設計手順によって得られるフェルミアンテナ
の変曲点 c の位置と、開口幅 W の変化に対する動作利得パター
ンの変化を示すものである。この図 1 8 と既に説明した図 1 1 か
25 ら明らかなように、3 5 GHz 帯において、変曲点 c の位置を小さ
くすることにより、H 面のビーム幅が縮小し、開口幅を小さくす
ることによって、E 面のビーム幅が大きくなるので、H 面のビー
ム幅と E 面のビーム幅が極めて近い動作利得パターンとなること

がわかる。

また、図 19 は、以上のような設計手順によって設計したフェルミアンテナの周波数と 10dB ビーム幅の関係をプロットしたグラフである。この図からわかるように、32.5GHz から 40GHz 程度
5 までの広い周波数帯で、H 面と E 面のビーム幅は略等しくなっている。このように、本発明の設計方法により設計したフェルミアンテナの 10dB ビーム幅は広帯域性を持っており、動作利得が 14.8dBi、E 面と H 面のサイドローブレベルがそれぞれ -20.1dB、
-16.8dB の軸対称な放射指向性が得られている。

- 10 次に、本発明のフェルミアンテナの設計方法の他の実施の形態の例を図 20 に基づいて説明する。図 1 のフローチャートと同じ部分は同一のステップ符号を付している。図 1 に示す実施の形態と異なるところは、ステップ S6 で H 面と E 面のビーム幅の目標値 BW_{design} を設定した後に、ステップ S10 において、開口幅 (W 、
15 D) の設定を行っている部分である。そして、ステップ S11 において E 面のビーム幅が BW_{design} に等しくないと判断された場合に、アンテナの開口幅を変化させ (ステップ S12)、再び、ステップ S10 に戻している。この設計方法では、E 面のビーム幅の決定プロセスループの中に、H 面ビーム幅の決定プロセスのループが入るので、常に E 面のビーム幅 (開口幅) に依存して H 面
20 のビーム幅が左右される可能性を有する。しかし、図 11 (B) からわかるように、開口幅 W が変化しても、H 面のビーム幅は略一定を維持しているので、上記のような方法でも図 1 のフローチャートと同様に E 面と H 面の放射指向性が等しいフェルミアンテナ
25 ナを設計することができる。

以上説明したように、本発明におけるフェルミアンテナの設計方法及び設計プログラムを利用することにより、E 面と H 面の放射パターンを一定の手順によって、比較的短時間に同じパターン

とすることが可能である。また、E面、H面とも高い利得のアンテナとすることができると共に、所望のビーム幅を持たせ、かつサイドローブも低く設定することができるので、ミリ波イメージング用受講素子に適したフェルミアンテナを実現することができる。

なお、本発明のフェルミアンテナの設計方法及び設計プログラムは、上述した実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲の記載を逸脱しない限りにおいて、適宜変更して利用することができることはいうまでもない。

請求の範囲

1. ミリ波の受信画像化に必要な広帯域で円形指向性を有するコ
ルゲート付フェルミアンテナの設計方法であって、前記フェルミ
アンテナのテーパ関数であるフェルミディラック関数の変曲点を
5 変化させて、H面のビーム幅を目標の指向性を有するビーム幅に
設定するとともに、

前記フェルミアンテナの開口幅を変化させて、E面のビーム幅
を前記目標の指向性を有するビーム幅に設定することにより、広
帯域かつ円形指向性を実現することを特徴とするフェルミアンテ
10 ナの設計方法。

2. ミリ波の受信画像化に必要な広帯域で円形指向性を有するコ
ルゲート付フェルミアンテナの設計方法であって、

広帯域周波数の中心周波数またはそれに対応する波長を与える
ステップと、

15 前記フェルミアンテナの誘電体基板の実効厚を決定するステ
ップと、

前記フェルミアンテナのアンテナ長を決定するステップと、

前記フェルミアンテナの前記コルゲートの幅、ピッチ及び高さ
を決定するステップと、

20 前記フェルミアンテナのテーパ形状を形成するフェルミディ
ラック関数のパラメータを決定するステップと、

前記フェルミアンテナから放射される電波のH面とE面のビ
ーム幅の目標値を設定するステップと、

前記フェルミ関数の変曲点を任意に設定した後に、前記H面の
25 ビーム幅を前記予め設定したH面のビーム幅の目標値と比較する
H面ビーム幅比較ステップと、

前記H面ビーム幅比較ステップにおいて、前記目標値に一致し
ないときは、変曲点の位置を変化させた後、再び前記H面のビー

ム幅を前記予め設定したH面のビーム幅の目標値と比較するステップを繰り返すH面ビーム幅決定サイクルと、

前記前記H面ビーム幅比較ステップにおいて、H面ビーム幅が予め設定したH面ビーム幅と一致したときに、前記フェルミアンテナの開口幅を設定するステップと、

前記設定した開口幅に基づいて放射される電波のE面のビーム幅と、前記予め設定したE面のビーム幅の目標値と比較するE面ビーム幅比較ステップと、

前記E面ビーム幅比較ステップにおいて、前記目標値に一致しないときは、前記開口幅を変化させ、再び前記E面のビーム幅を前記予め設定したE面のビーム幅の目標値と比較するステップを繰り返すE面ビーム幅決定サイクルと、

を含み、前記H面ビーム幅と前記E面ビーム幅の双方とも略等しい円形指向性を有するように設計することを特徴とする広帯域フェルミアンテナの設計方法。

3. ミリ波の受信画像化に必要な広帯域で円形指向性を有するコルゲート付フェルミアンテナを設計するためのプログラムであって、

広帯域周波数の中心周波数またはそれに対応する波長を与える手順と、

前記フェルミアンテナの誘電体基板の実効厚を決定する手順と、

前記フェルミアンテナのアンテナ長を決定する手順と、

前記フェルミアンテナの前記コルゲートの幅、ピッチ及び高さを決定する手順と、

前記フェルミアンテナのテーパ形状を形成するフェルミディラック関数のパラメータを決定する手順と、

前記フェルミアンテナから放射される電波のH面とE面のビ

ーム幅の目標値を設定する手順と、

前記フェルミ関数の変曲点を任意に設定した後に、前記H面のビーム幅を前記予め設定したH面のビーム幅の目標値と比較する手順と、

- 5 前記H面ビーム幅が前記目標値に一致しないときは、前記変曲点の位置を変化させた後、前記H面のビーム幅と前記H面のビーム幅の目標値と比較する手順を繰り返し、前記前記H面ビーム幅を比較する手順において、H面ビーム幅が予め設定したH面ビーム幅と一致したときに、前記フェルミアンテナの開口幅を設定する手順と、
- 10

前記設定した開口幅に基づいて放射される電波のE面のビーム幅と、前記予め設定したE面のビーム幅の目標値を比較する手順と、

- 前記E面ビーム幅を比較する手順において、前記E面のビーム幅が前記E面ビーム幅の目標値に一致しないときは、前記開口幅を変化させて前記E面のビーム幅を前記予め設定したE面のビーム幅の目標値と比較する手順を繰り返すことにより、
- 15

- 前記H面ビーム幅と前記E面ビーム幅の双方とも略等しい円形指向性を有するように設計するための手順を実行する広帯域フェルミアンテナの設計のためのプログラム。
- 20

4. ミリ波の受信画像化に必要な広帯域で円形指向性を有するコルゲート付フェルミアンテナを設計するためのプログラムを記録した記録媒体であって、

- 広帯域周波数の中心周波数またはそれに対応する波長を与える
- 25 手順と、

前記フェルミアンテナの誘電体基板の実効厚を決定する手順と、

前記フェルミアンテナのアンテナ長を決定する手順と、

前記フェルミアンテナの前記コルゲートの幅、ピッチ及び高さを決定する手順と、

前記フェルミアンテナのテーパ形状を形成するフェルミディラック関数のパラメータを決定する手順と、

- 5 前記フェルミアンテナから放射される電波のH面とE面のビーム幅の目標値を設定する手順と、

前記フェルミ関数の変曲点を任意に設定した後に、前記H面のビーム幅を前記予め設定したH面のビーム幅の目標値と比較する手順と、

- 10 前記H面ビーム幅が前記目標値に一致しないときは、前記変曲点の位置を変化させた後、前記H面のビーム幅と前記H面のビーム幅の目標値と比較する手順を繰り返し、前記前記H面ビーム幅を比較する手順において、H面ビーム幅が予め設定したH面ビーム幅と一致したときに、前記フェルミアンテナの開口幅を設定する手順と、
- 15

前記設定した開口幅に基づいて放射される電波のE面のビーム幅と、前記予め設定したE面のビーム幅の目標値と比較する手順と、

- 前記E面ビーム幅を比較する手順において、前記E面のビーム幅が前記E面ビーム幅の目標値に一致しないときは、前記開口幅を変化させて前記E面のビーム幅を前記予め設定したE面のビーム幅の目標値と比較する手順を繰り返すことにより、
- 20

- 前記H面ビーム幅と前記E面ビーム幅の双方とも略等しい円形指向性を有するように設計するための手順を実行する広帯域フェルミアンテナの設計のためのプログラムを記録した記録媒体。
- 25

FIG. 1

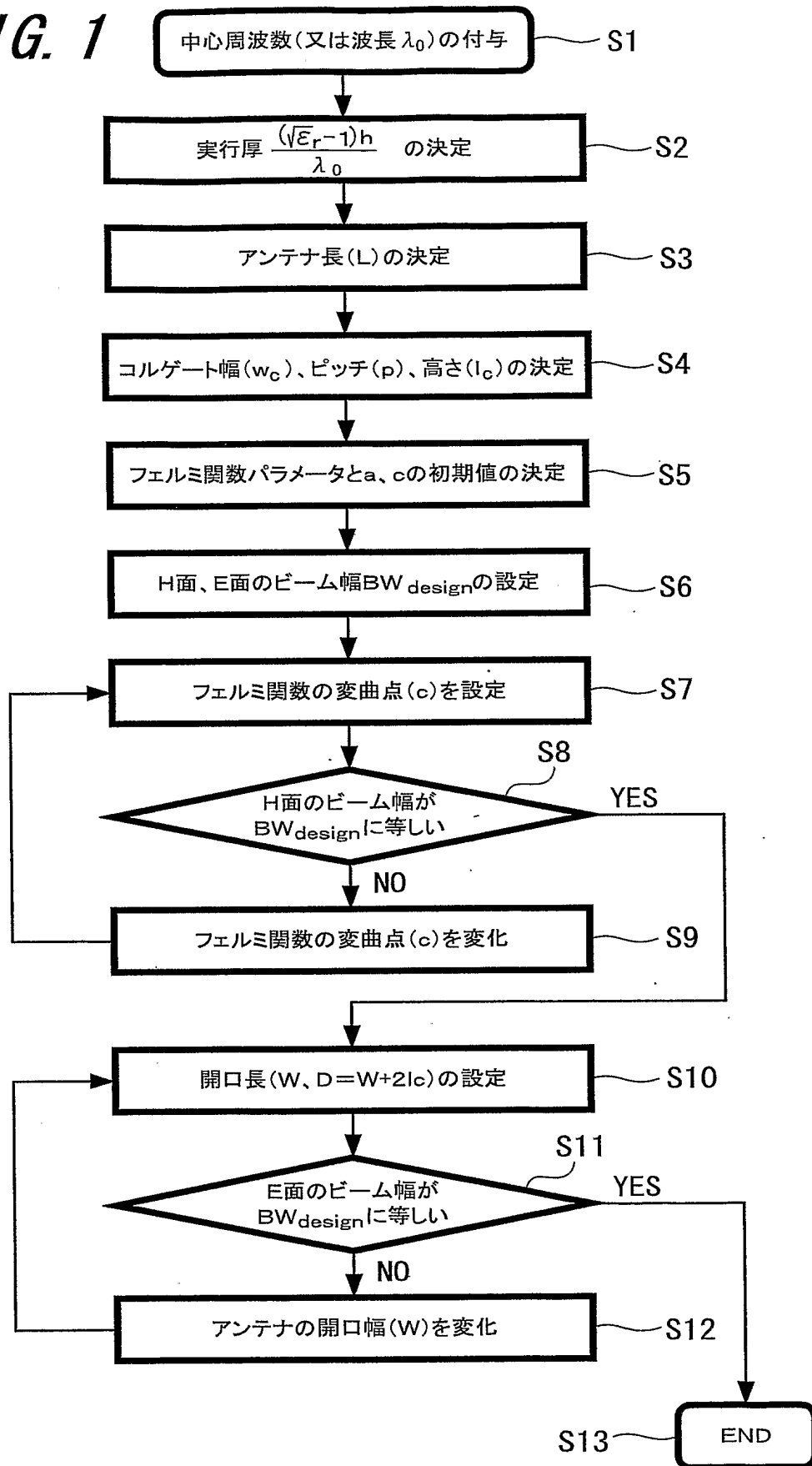


FIG. 2

$\epsilon_r = 3.7$
 $h = 0.1, 0.2, 0.5\text{mm}$

$\epsilon_r = 9.8$
 $h = 0.05, 0.1, 0.2\text{mm}$

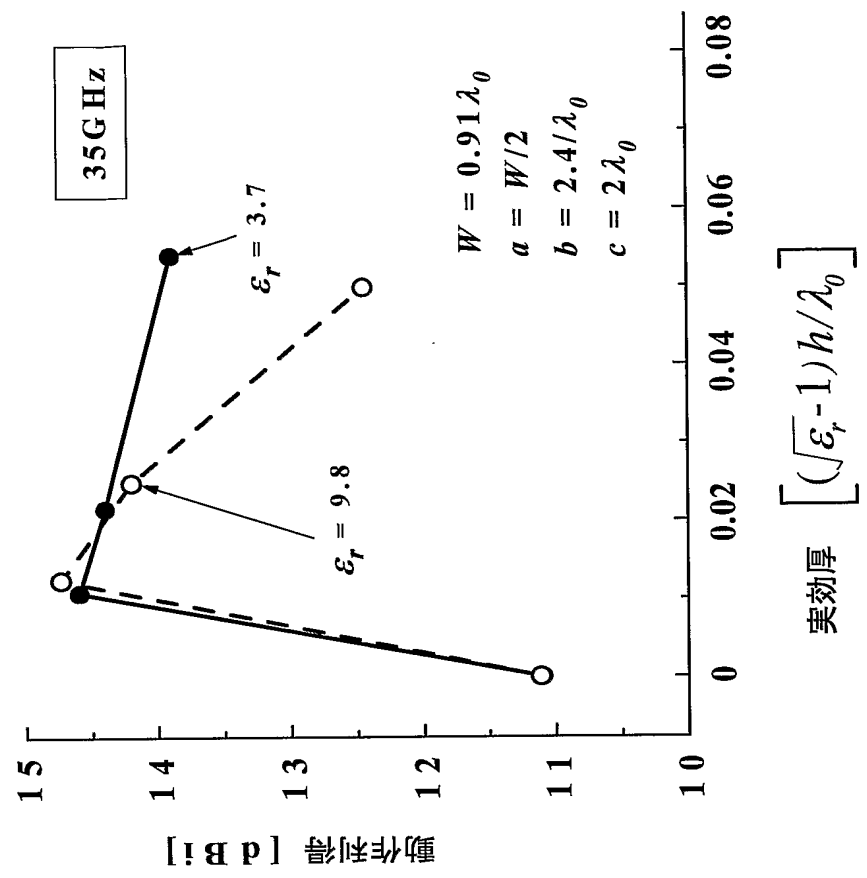
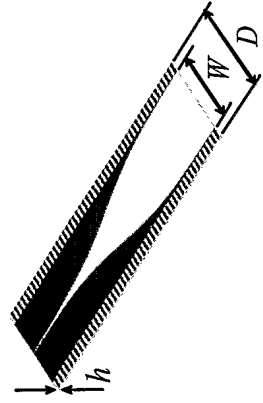


FIG. 3

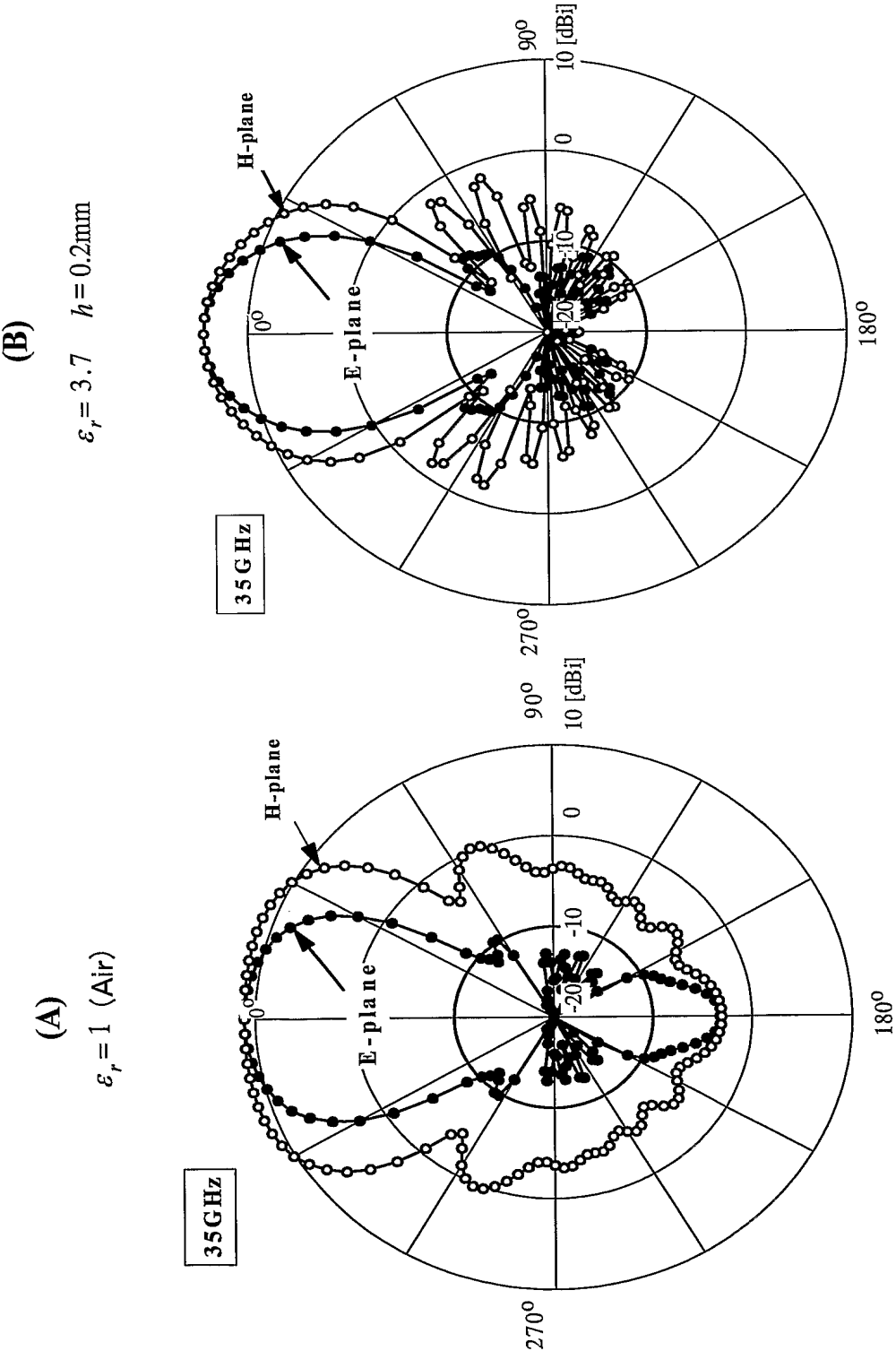


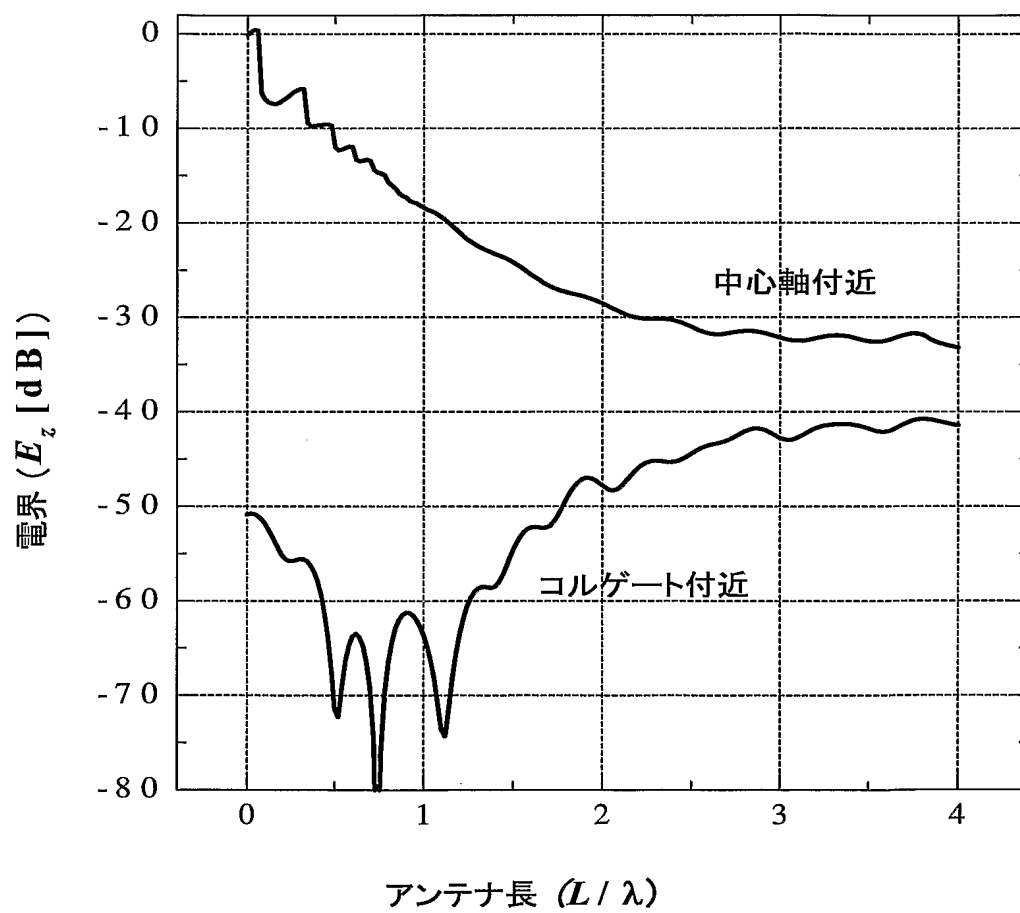
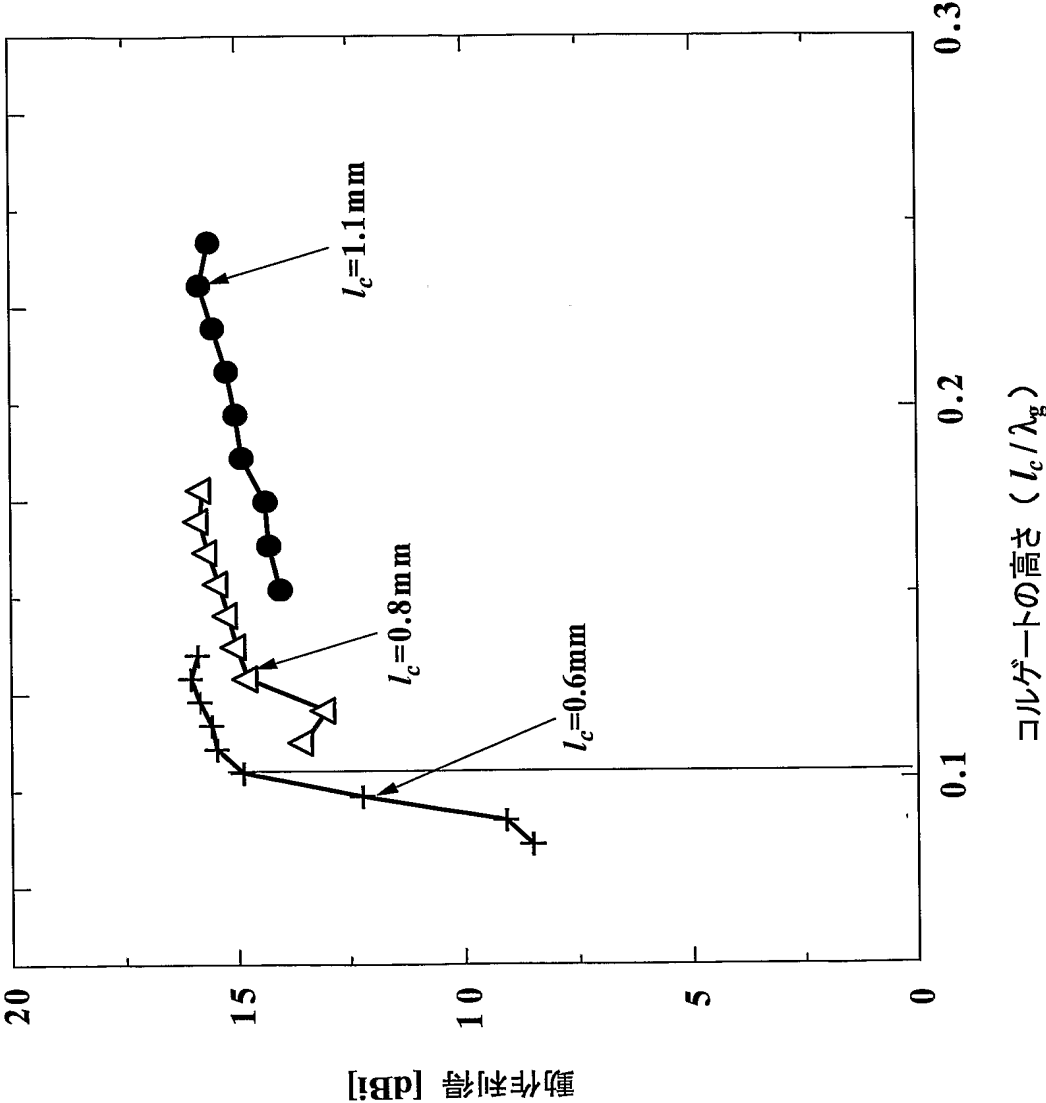
FIG. 4

FIG. 5



$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$
$$\epsilon_r = 3.7$$

FIG. 6

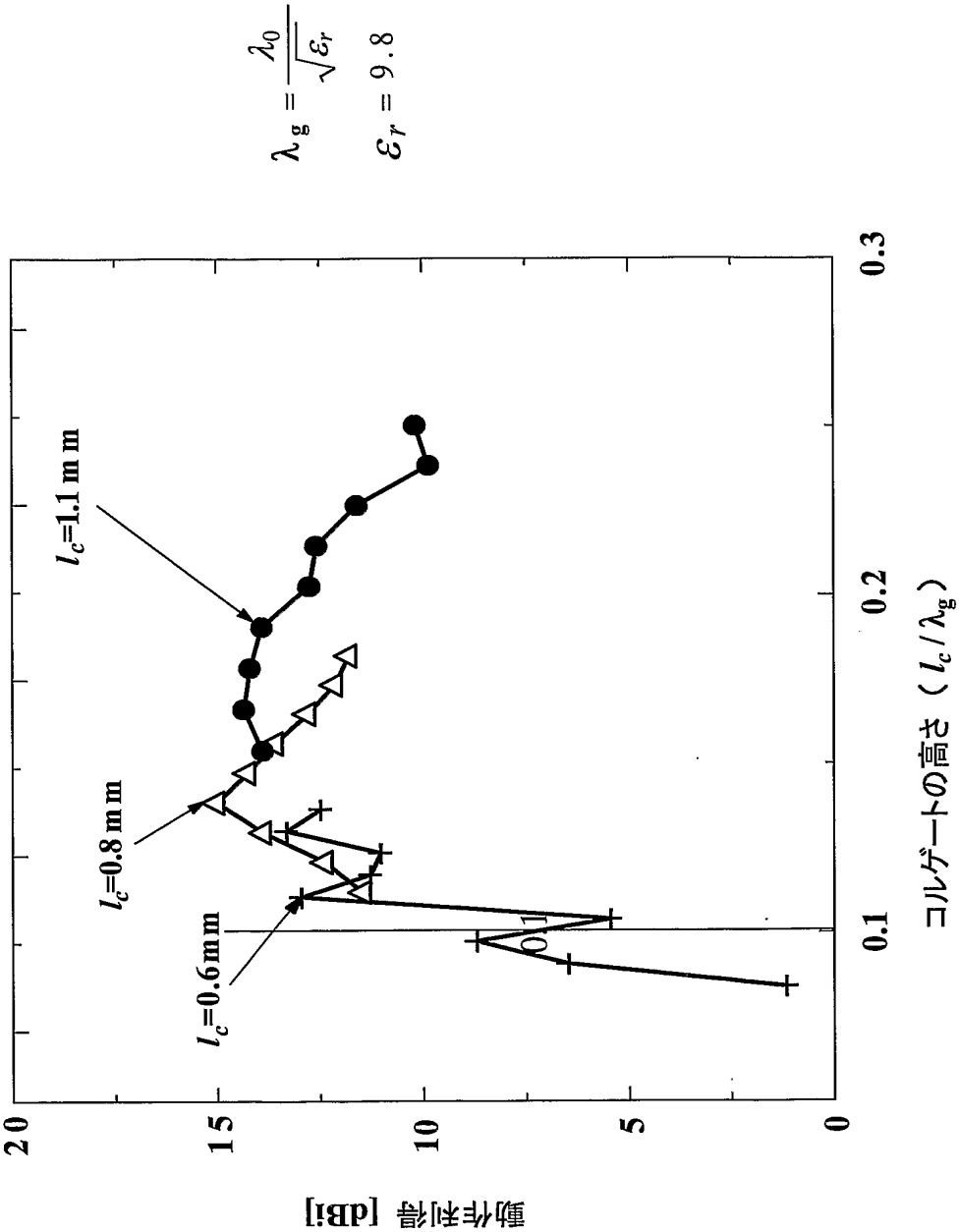


FIG. 7

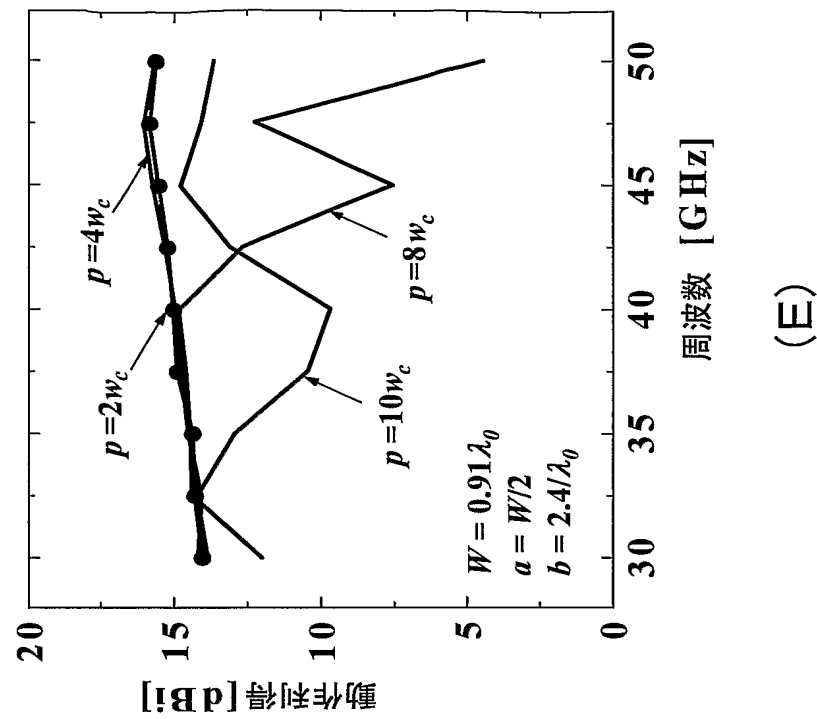
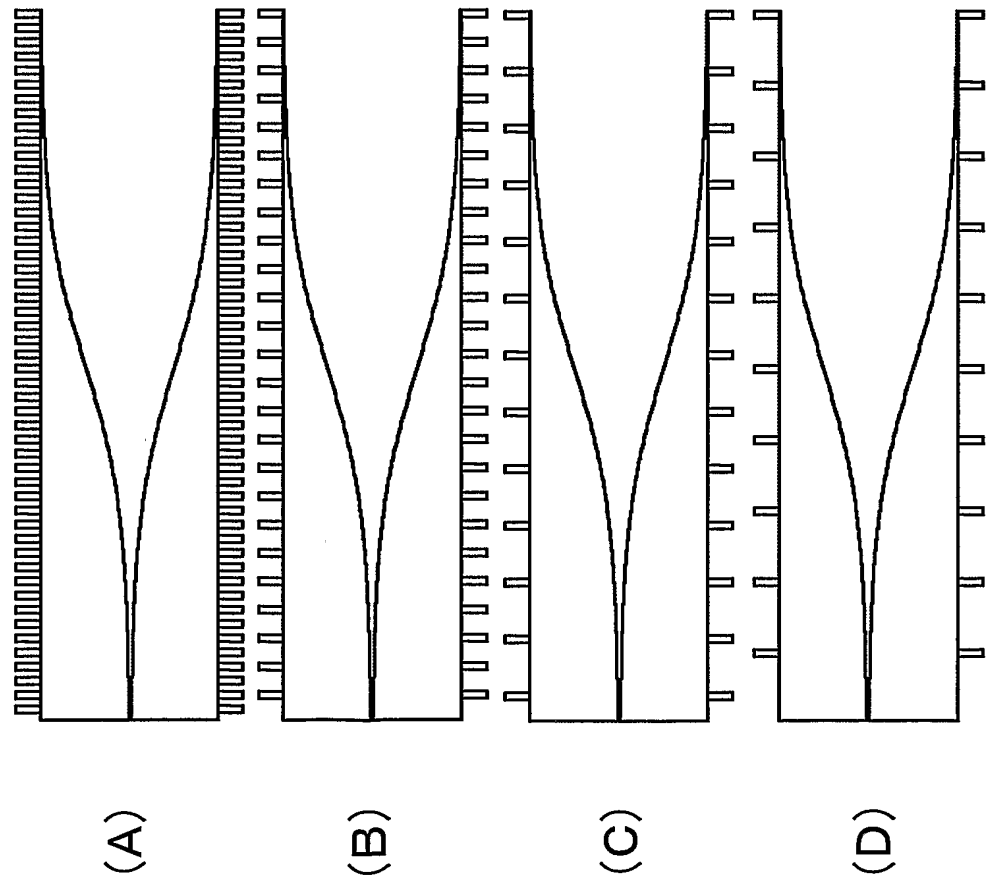


FIG. 8

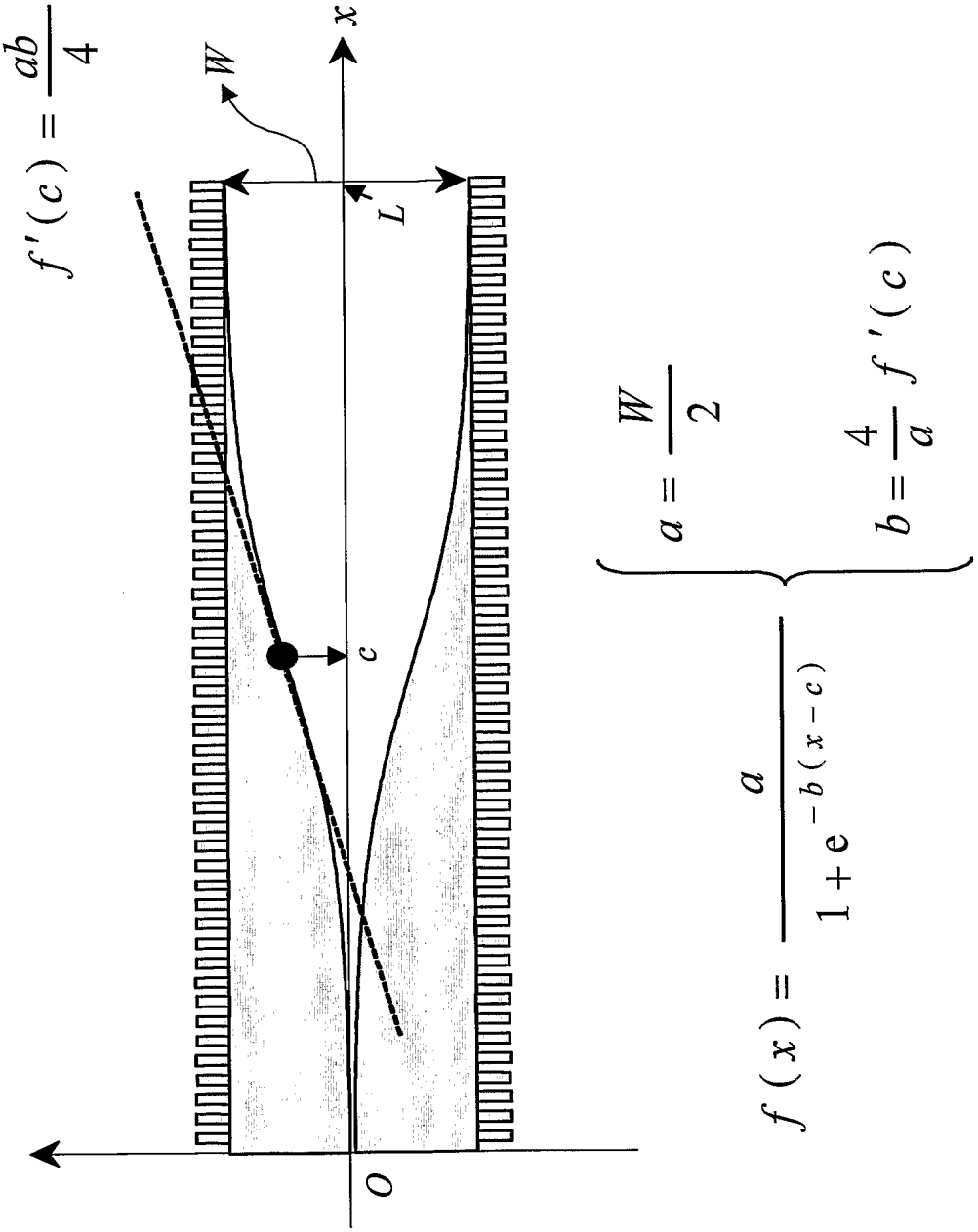


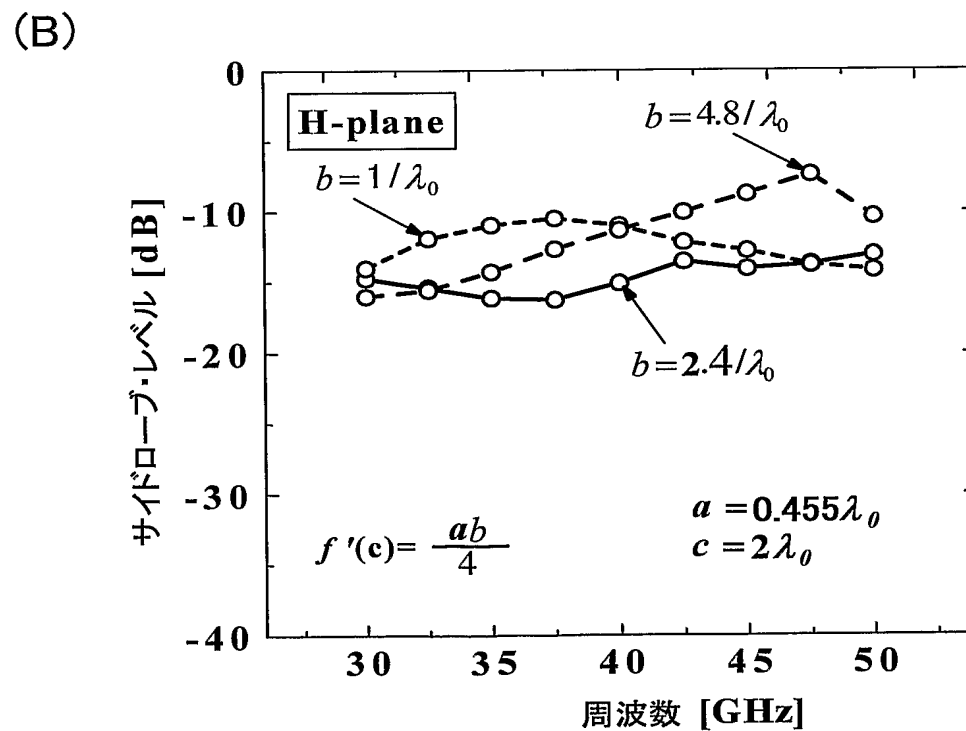
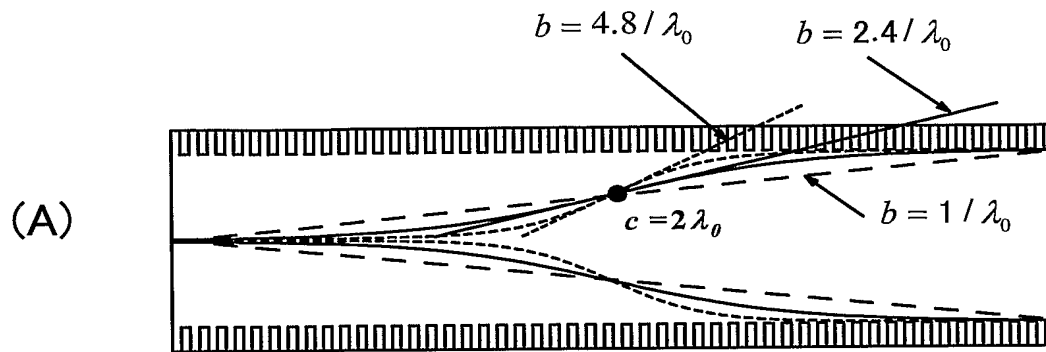
FIG. 9

FIG. 10

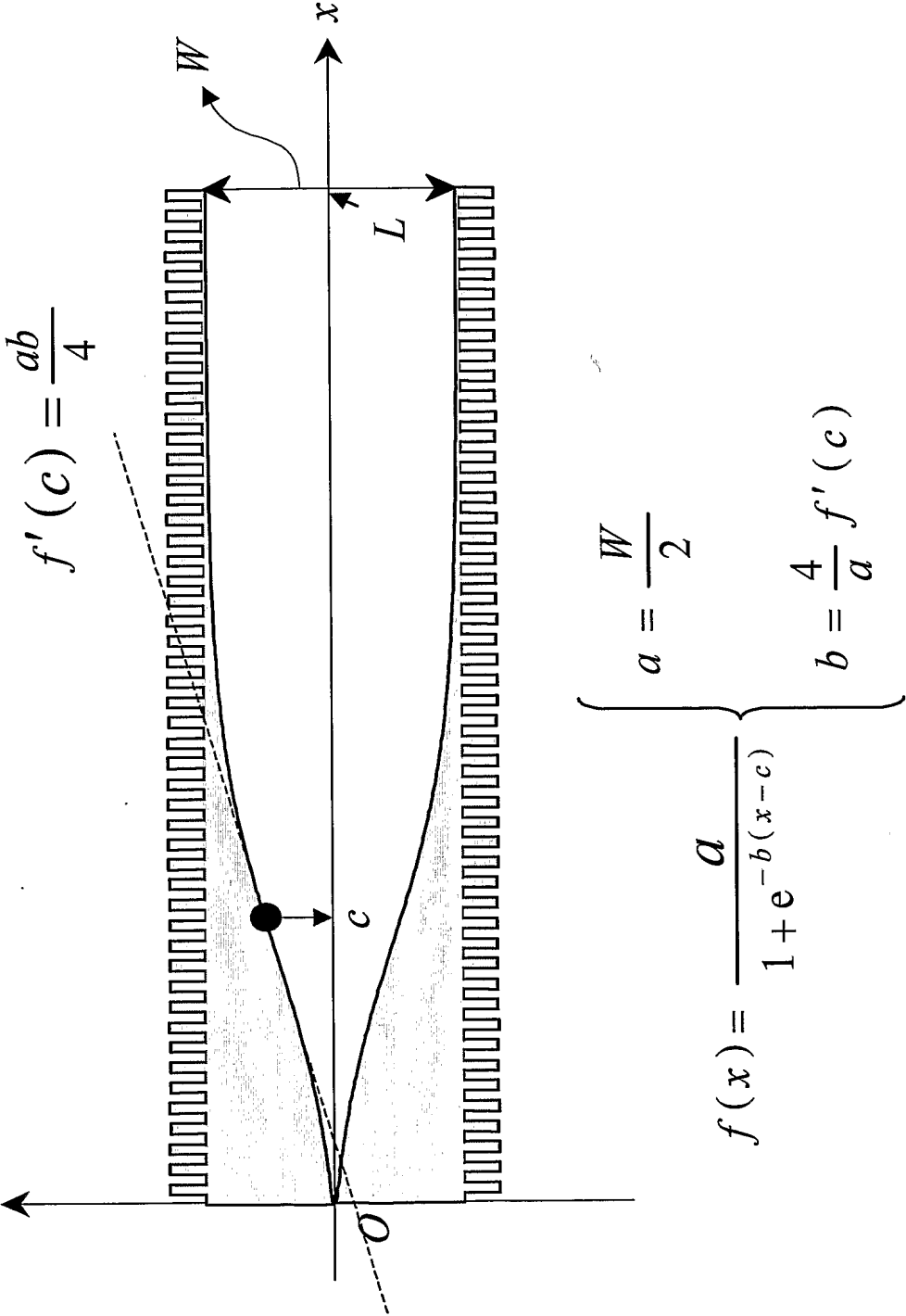


FIG. 11

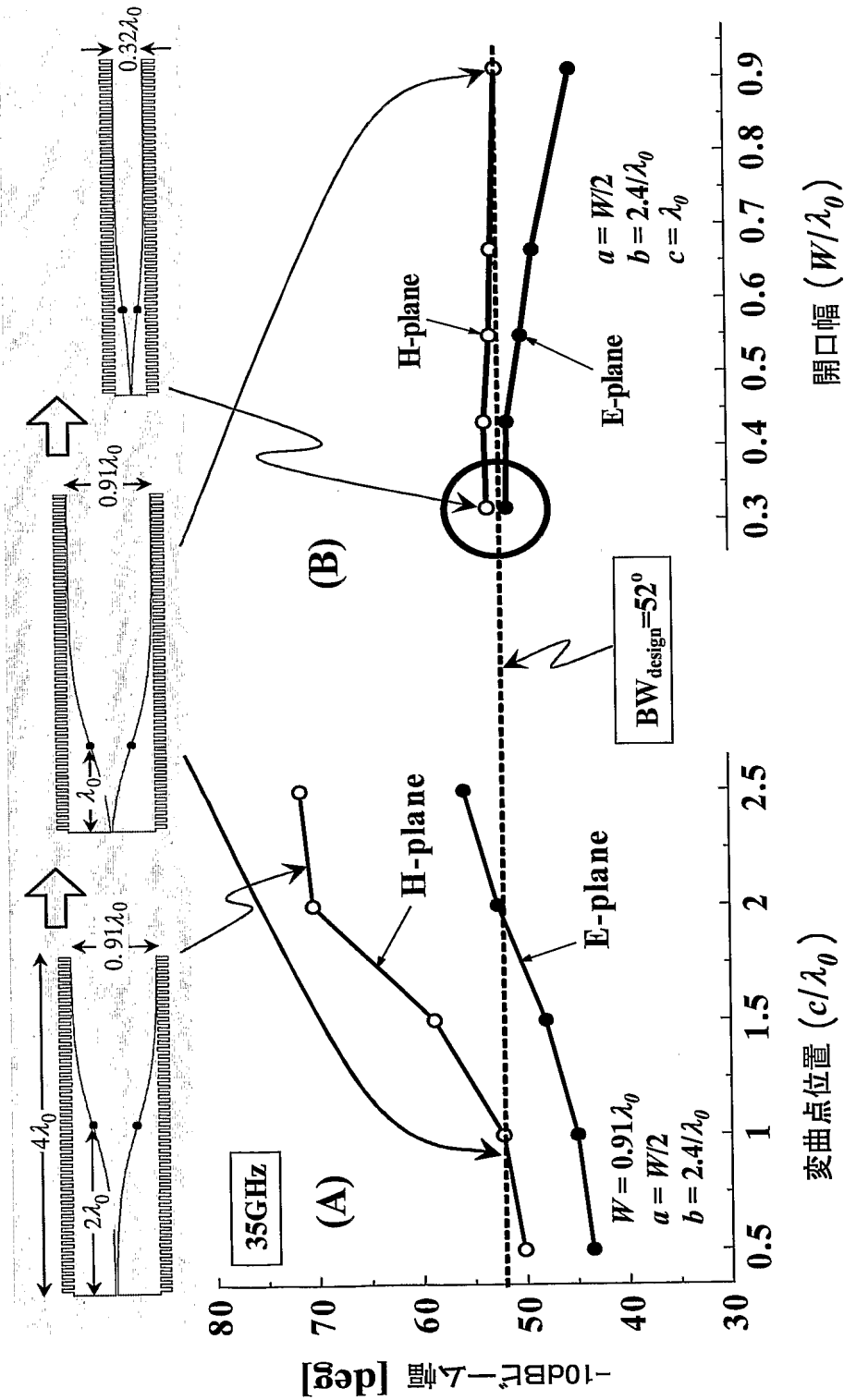
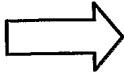
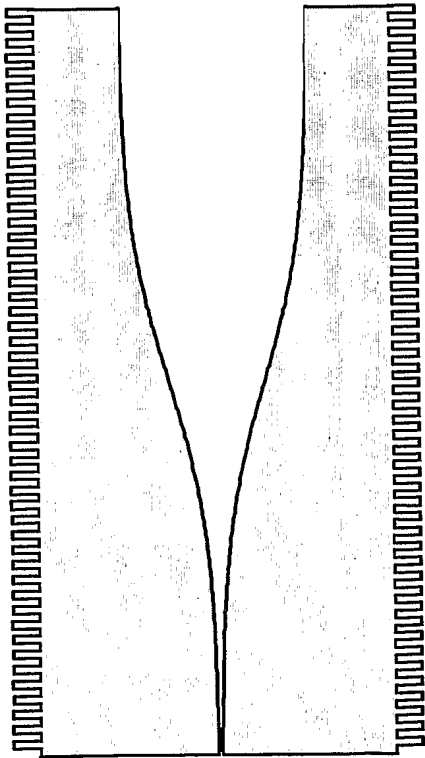
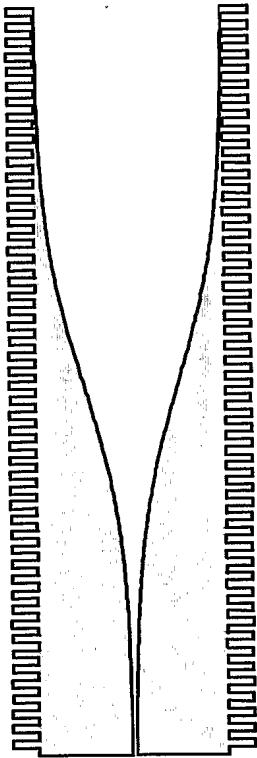


FIG. 12

(A)



(B)



高利得となる条件

$$d = l_c$$

(C)

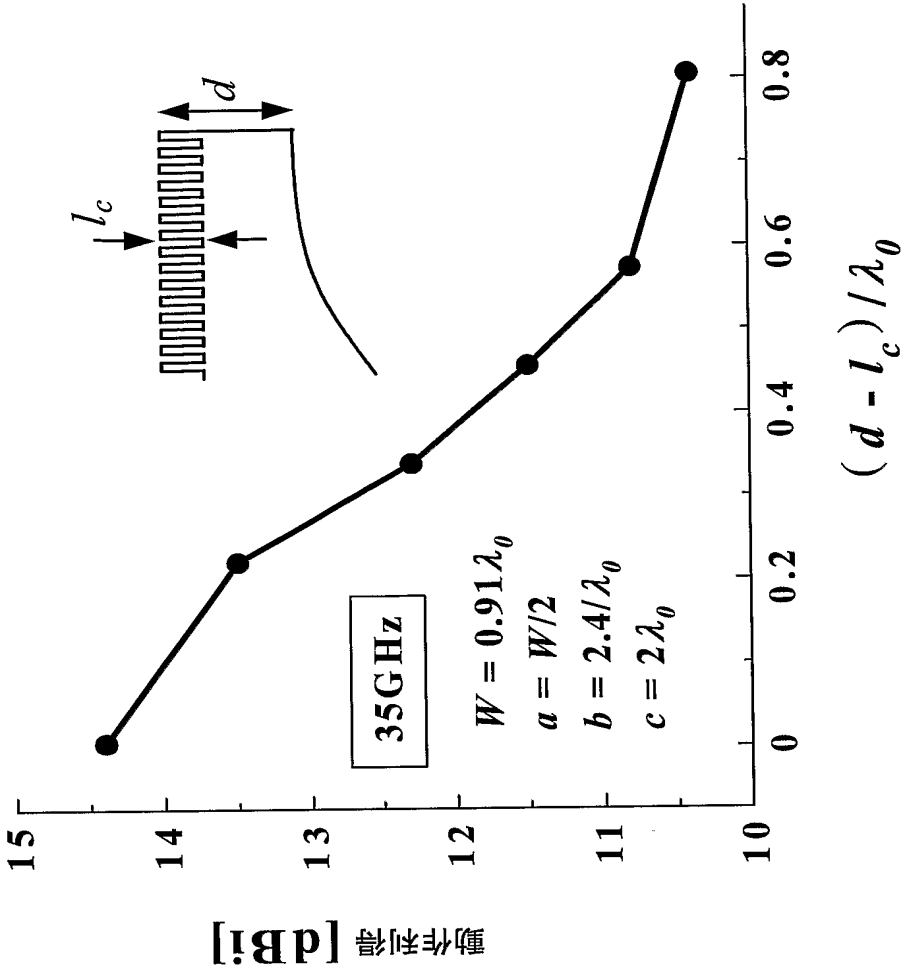


FIG. 13

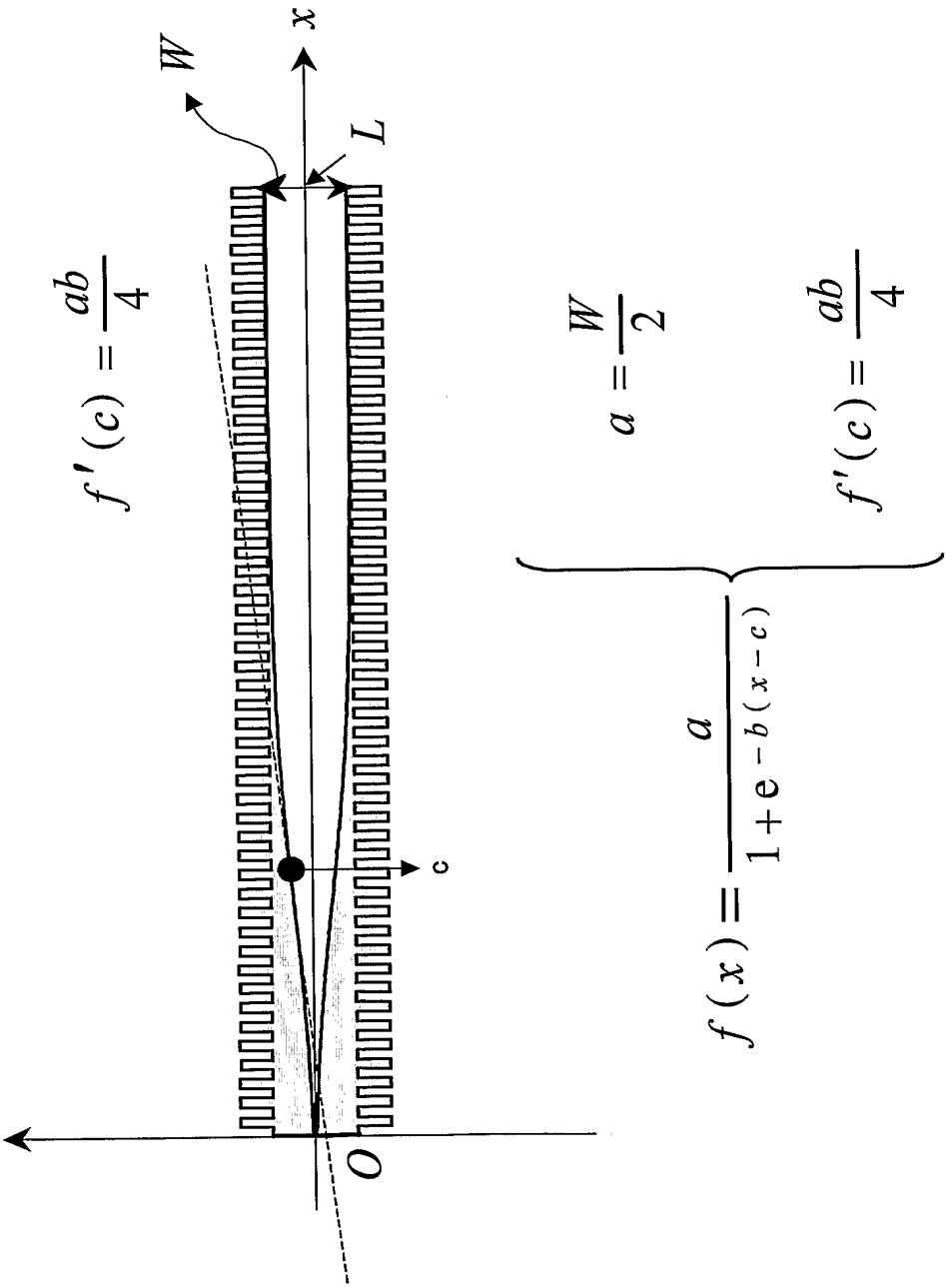


FIG. 14

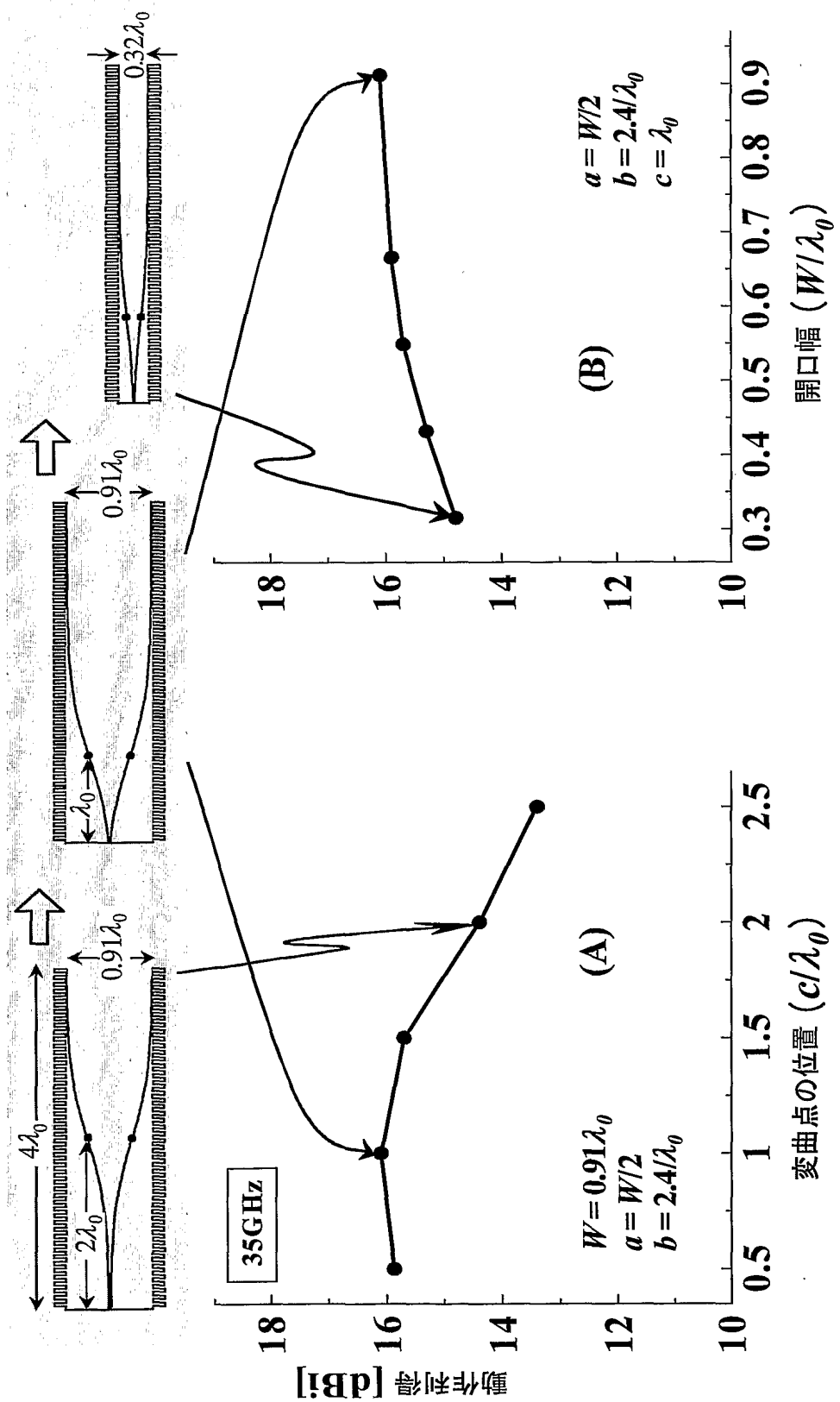
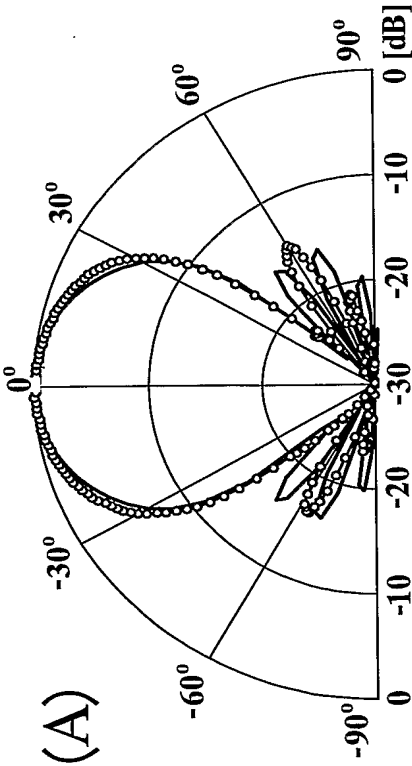


FIG. 15

35GHz

H-Plane



E-Plane

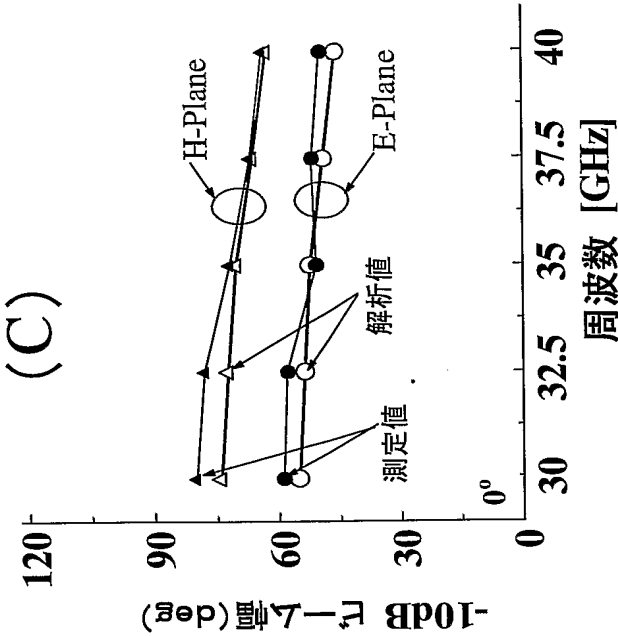
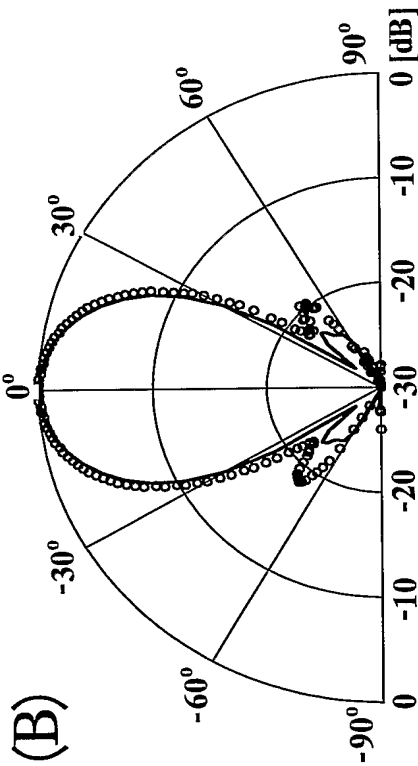


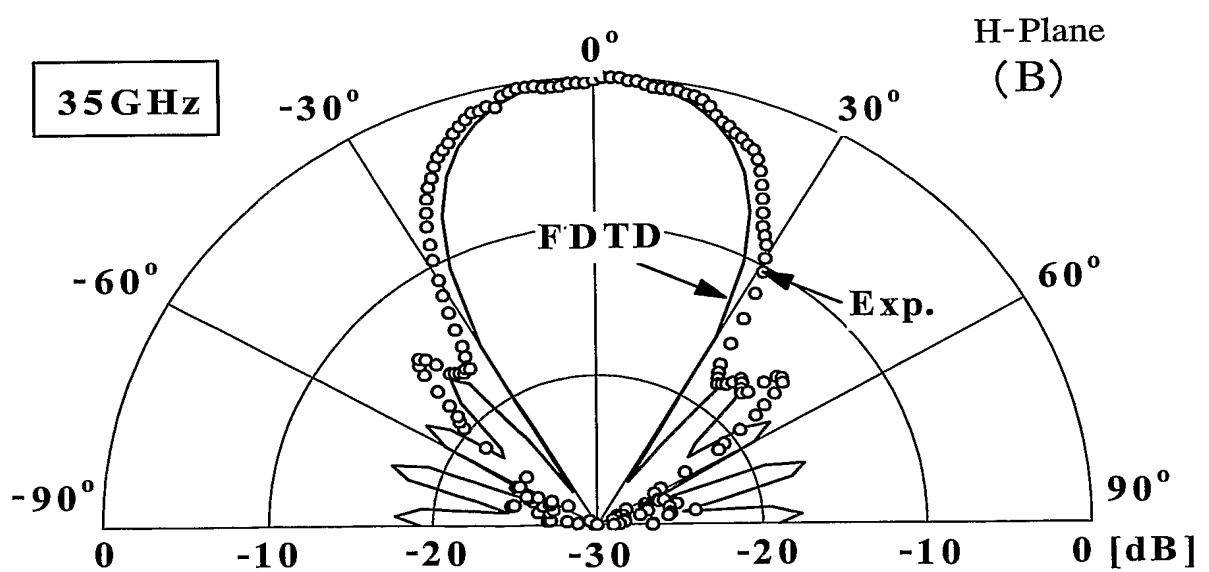
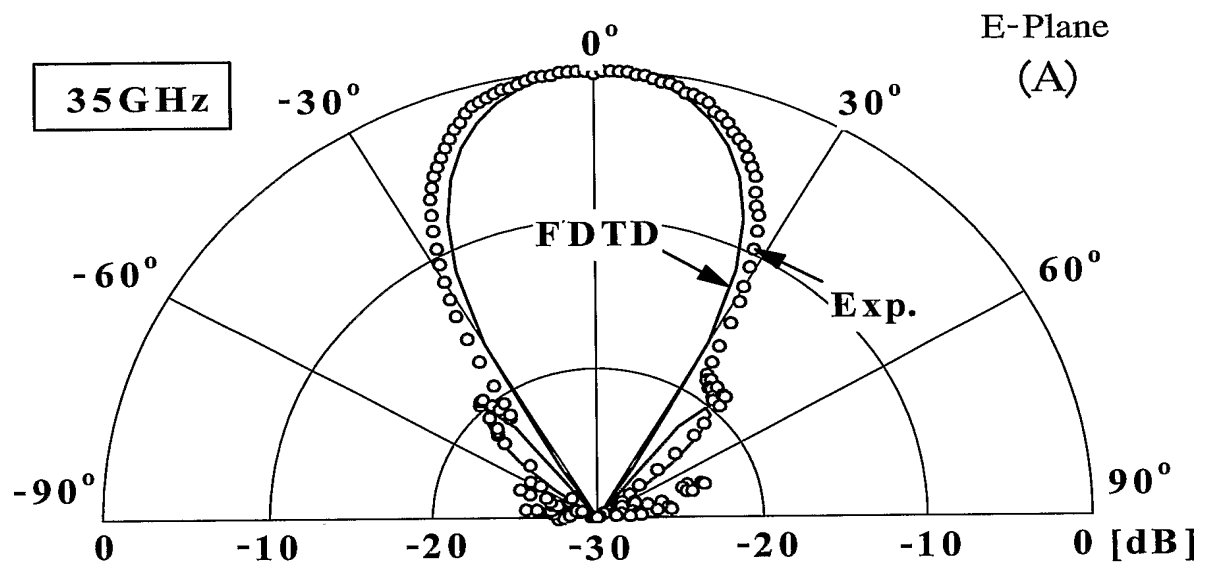
FIG. 16

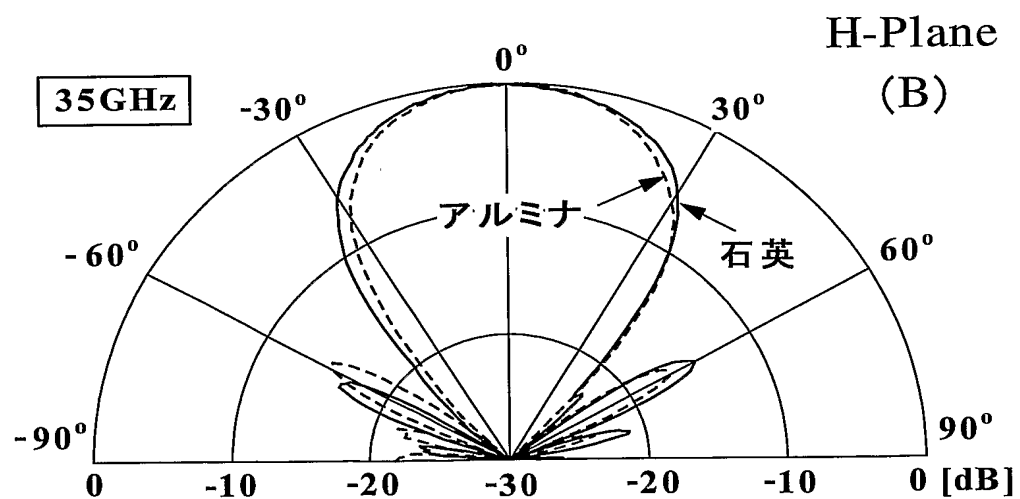
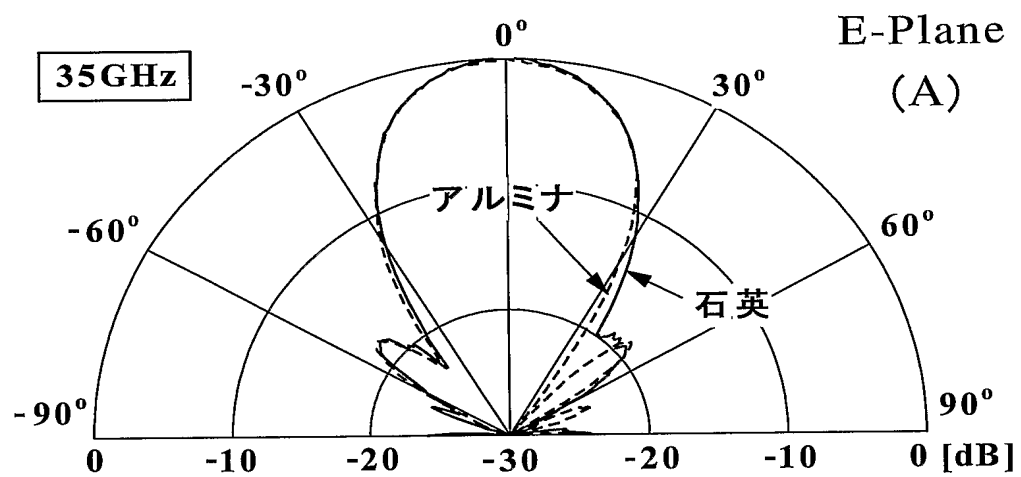
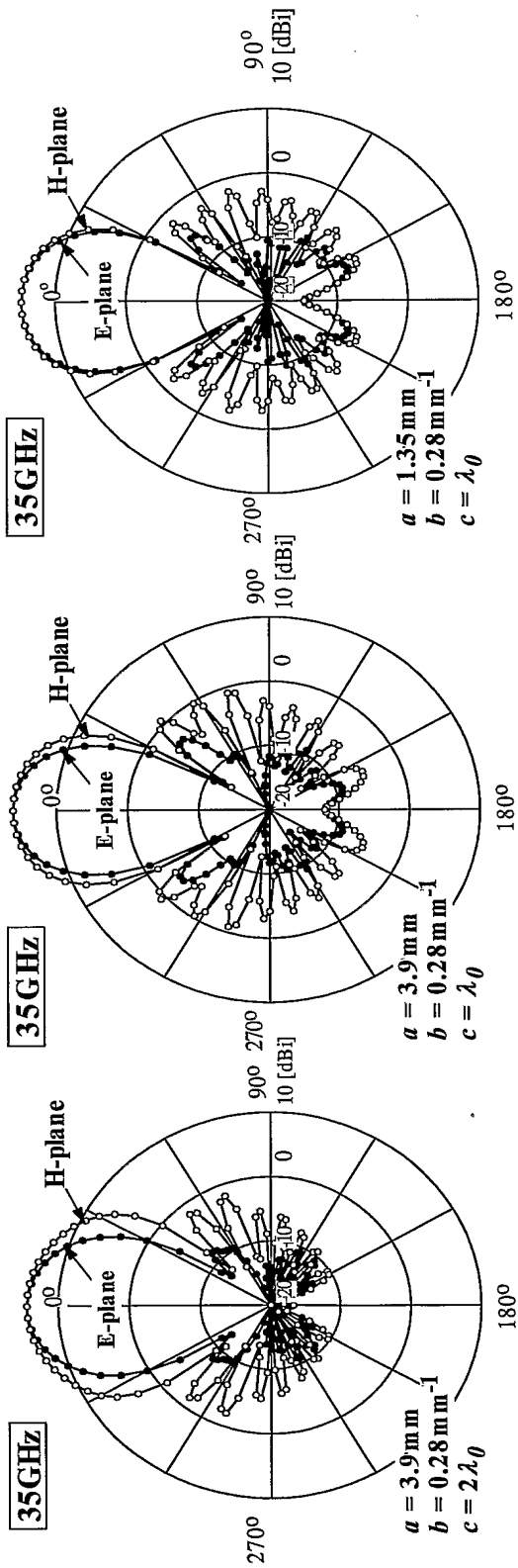
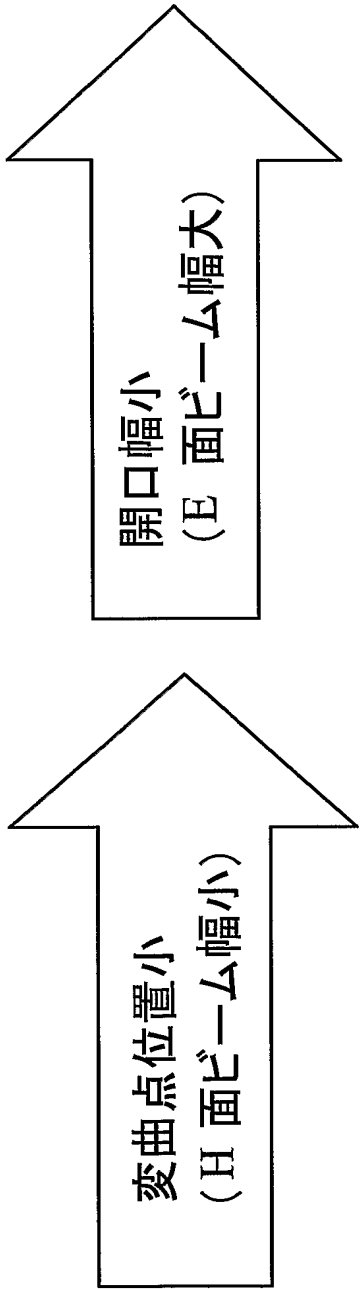
FIG. 17

FIG. 18



動作利得 14.8 dBi
E面サイドローレベル -20.2 dB
H面サイドローレベル -16.8 dB

FIG. 19

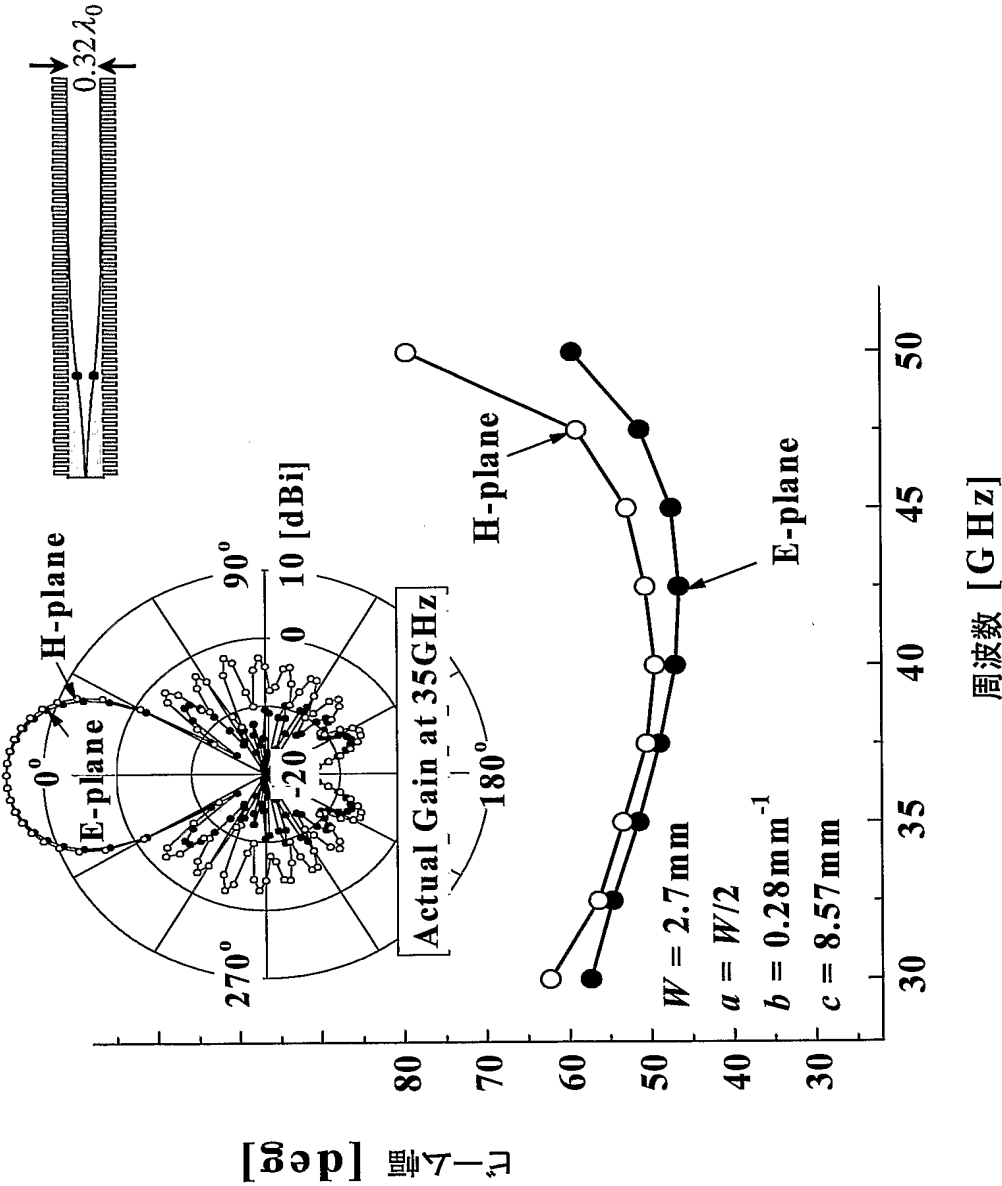


FIG. 20

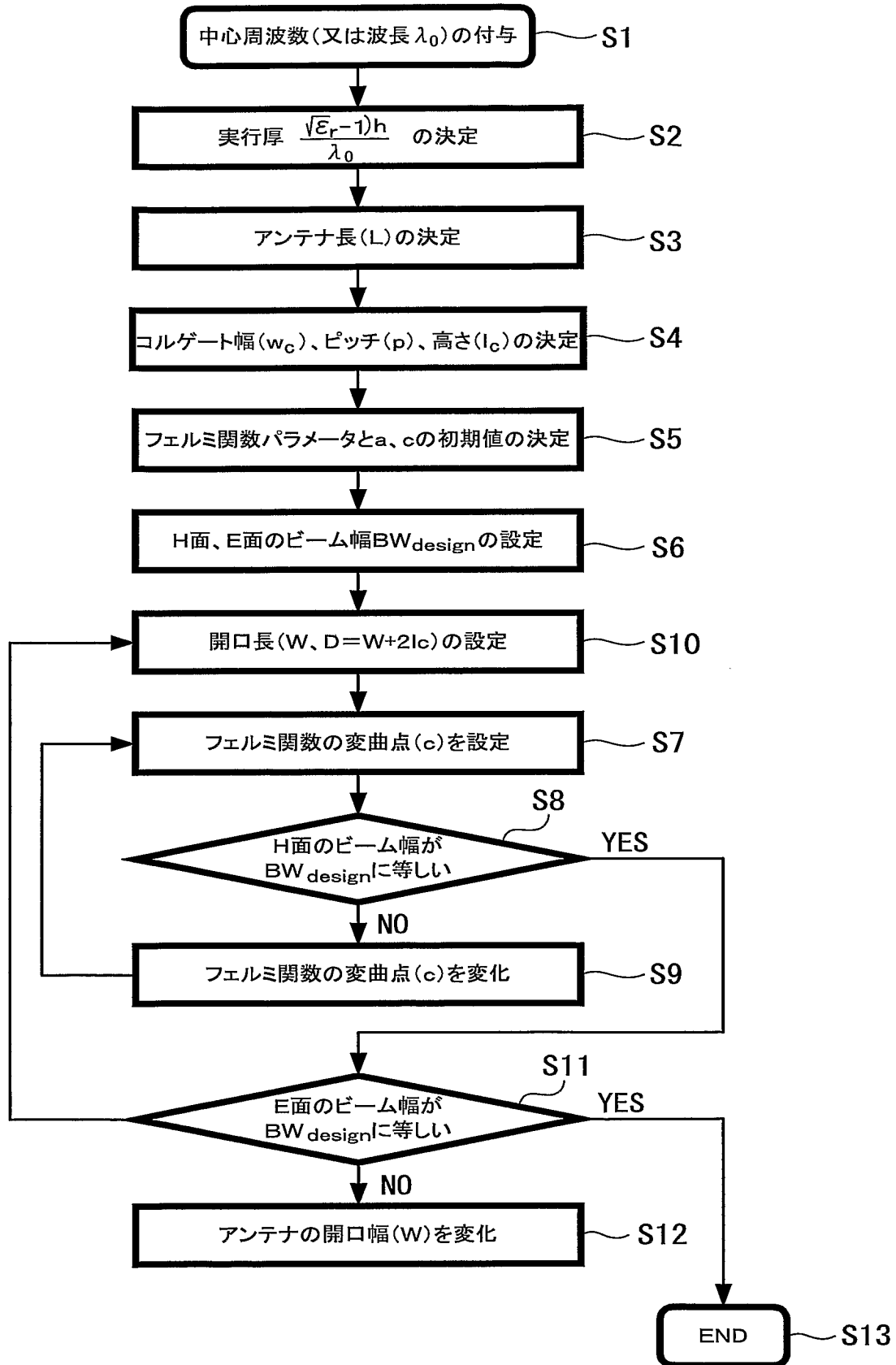


FIG. 21

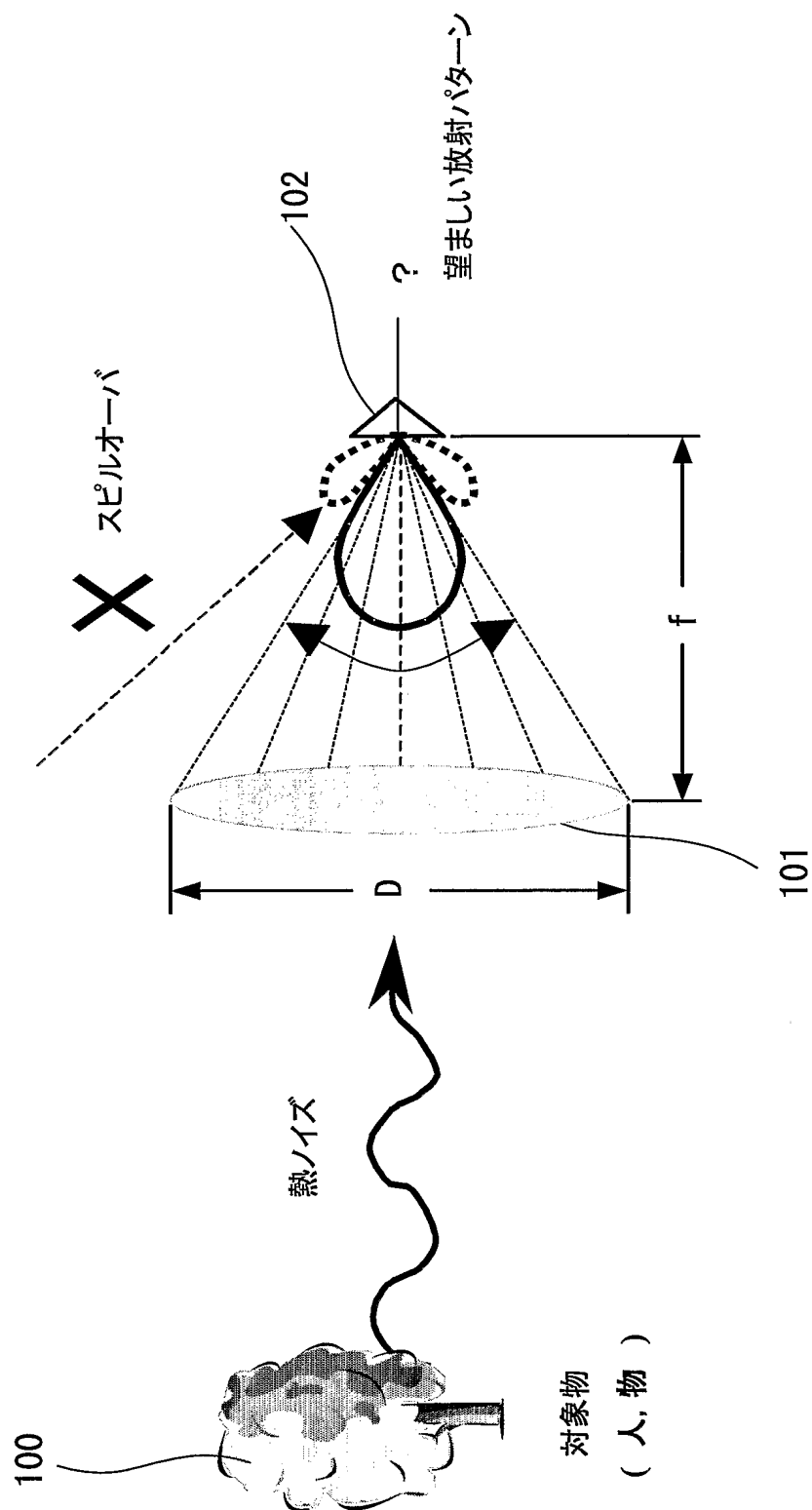


FIG. 22

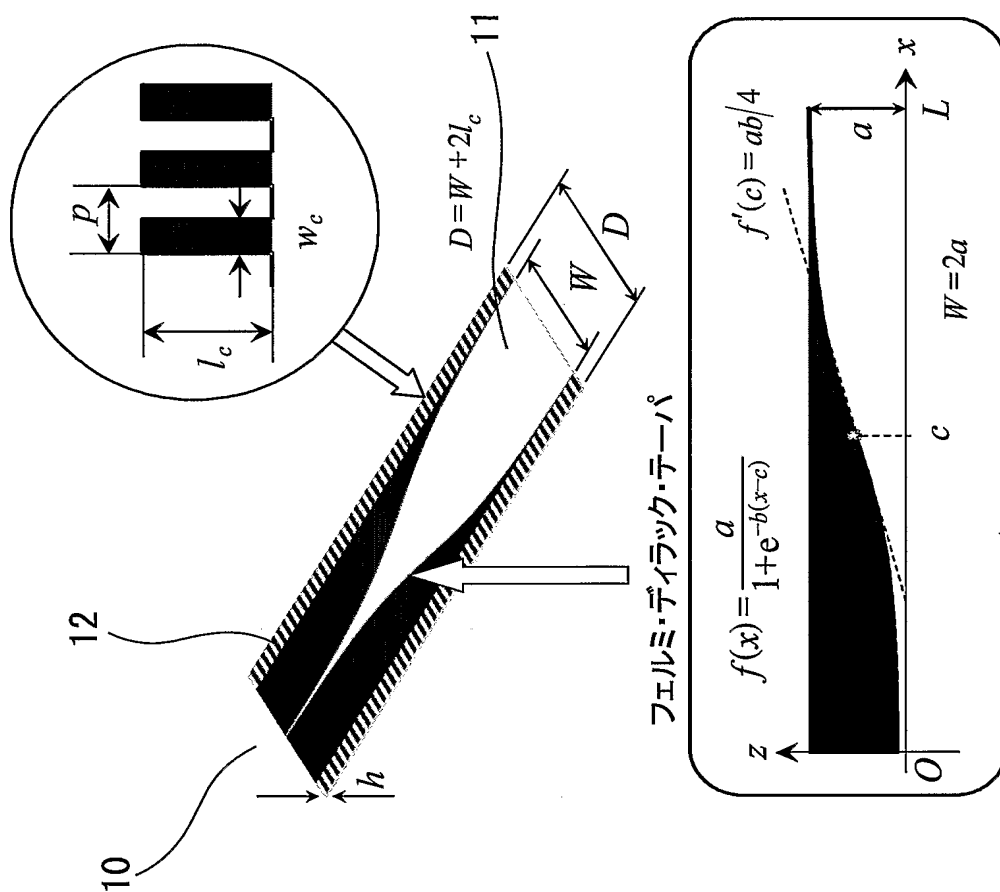


FIG. 23

寸法の名称	[mm]	$[\lambda_0]@35\text{GHz}$
アンテナ長 L	34.28	4
開口幅 W	7.8	0.91
基板端・開口端距離 d	1.15	0.13
基板幅 D	10.1	1.18
基板厚さ h	0.2	0.02
コルゲート長 l_c	1.1	0.13
コルゲート幅 w_c	0.3428	0.04
コルゲートピッチ p	0.6856	0.08
スロット線路幅 w_s	0.1	0.01

引用符号の説明

- 1 0 0 . . . 対象物、
- 1 0 1 . . . レンズアンテナ、
- 1 0、1 0 2 . . . フェルミアンテナ、
- 1 1 . . . 誘電体基板、
- 1 2 . . . コルゲート構造

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003825

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁷ H01Q13/08, 13/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.⁷ H01Q13/08, 13/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI (DIALOG), [(fermi*antenna)/tx]

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Hiroyasu SATO, "Corrugate Kozo Tsuki Millimeter-Ha Fermi Antenna no Sekkei", The Transactions of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers B, Vol.J86-B, No.9, 2003, pages 1851 to 1859	1-4
A	SATO, H., Broadband FDTD analysis of Fermi antenna with narrow width substrate, Antennas and Propagation Society International Symposium, 2003., IEEE Vol.1, 22-27, June, 2003, page (s): 261 to 264	1-4
A	JP 3462959 B2 (Ricoh Co., Ltd.), 15 August, 2003 (15.08.03), Full text; all drawings & US 6008770 A	1-4



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
02 May, 2005 (02.05.05)

Date of mailing of the international search report
24 May, 2005 (24.05.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003825

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Hiroyasu SATO, "Corugate Kozo Tsuki Miri-Ha Fermi Antenna no Kotaiiki FDTD Kaiseki", 2003 Nen The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Sogo Taikai B-1-161, 2003	1-4
A	Henry Nguyen, "Kotaiiki Active Fermi Antenna no Sekkei", 2003 Nen The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Sogo Taikai, B-1-60, 2003	1-4
A	Naoto ARAI, "Miri-Hatai Imaging-yo Fermi Antenna no Tokusei", 2002 Nen The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Sogo Taikai, C-2-94, 2002	1-4

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ H01Q13/08, 13/10

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ H01Q13/08, 13/10

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

WPI (DIALOG), [(fermi*antenna)/tx]

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	佐藤弘康、コルゲート構造付ミリ波フェルミアンテナの設計、電子情報通信学会論文誌 B Vol.J86-B No.9、2003、pp.1851-1859	1-4
A	Sato, H., Broadband FDTD analysis of Fermi antenna with narrow width substrate, Antennas and Propagation Society International Symposium, 2003. IEEE Volume 1, 22-27 June 2003 Page(s):261 - 264	1-4

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02.05.2005

国際調査報告の発送日

24.5.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

吉村 博之

電話番号 03-3581-1101 内線 3568

5 T

3 2 4 5

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 3462959 B2 (株式会社リコー) 2003.08.15, 全文、全図 & US 6008770 A	1-4
A	佐藤弘康、コルゲート構造付ミリ波フェルミアンテナの広帯域 FDTD 解析、2003年電子情報通信学会総合大会 B-1-161、2003	1-4
A	ヘンリー ニュエン、広帯域アクティブフェルミアンテナの設計、2003年電子情報通信学会総合大会 B-1-60、2003	1-4
A	新井直人、ミリ波帯イメージング用フェルミアンテナの特性、2002年電子情報通信学会総合大会 C-2-94、2002	1-4